

Timo Siljander

ALUSTATEKNIIKAN JA
TURVALLISUUDEN KEHITYS 50-
VUODEN AIKANA
Mercedes Benz

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Toukokuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 24.5.2011	
Tekijä(t) Timo Siljander		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka	
Nimeke Alustatekniikan ja turvallisuuden kehitys 50-vuoden aikana			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, mihin suuntaan henkilöautojen alustatekniikka on edennyt viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana. Tavoitteena oli selvittää syy, minkä vuoksi autoa on kehitetty juuri tähän suuntaan. Lisäksi tavoitteena oli selvittää auton alustatekniikan toimintaa itselleni hieman pidemmälle kuin ammattikorkeakoulun opintosuunnitelma on antanut opettaa.</p> <p>Työssä käytiin läpi alustatekniikkaan liittyvät keskeiset käsitteet, kerrottiin Hunter 4 -pyöräsuuntauslaitteen toiminta pyöräntulmien mittauksen osalta ja esiteltiin kahden vertailtavan auton alustatekniikka. Työssä ei ollut tarkoitus perehtyä pyöräntulmien säätötapautumaan, vaan lähinnä pyöräntulmien teoreettiseen vaikutukseen auton ajettavuuteen ja hallittavuuteen.</p> <p>Kahdesta vertailtavasta autosta mitattiin pyöräntulmat erilaisissa joustotilanteissa ja selvitettiin jousituksen ominaisvärähtelytaajuus. Työssä pyrittiin myös pysymään normaalia ajotilannetta vastaavissa tilanteissa, joten esimerkiksi pyöräntulmien muutoksia auton liukumisen rajalla ei ole käsitelty.</p> <p>Tuloksena työstä tuli kuvaajia, joista selviää pyöräntulmamutokset eri joustotilanteissa. Tuloksilla pystyy karkeasti mallintamaan auton käyttäytymistä todellisissa ajotilanteissa.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Jousitus, ohjaus, turvallisuus.			
Sivumäärä 35 + 12 liitettä	Kieli suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Kari Ehrnrooth		Opinnäytetyön toimeksiantaja	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 24.5.2011	
Author(s) Timo Siljander		Degree programme and option Automotive and Transport Engineering	
Name of the bachelor's thesis Development of Chassis technology and safety during last 50 years			
Abstract <p>The purpose of this research was to clarify in what direction passenger car chassis has advanced during the last fifty year. Objective of this research is also to discuss why the car has been developed exactly this way.</p> <p>The beginning of the study gives basic terms of chassis, make clear how Hunter's 4-wheel alignment device works in measuring different angles of a wheel. It also introduces the chassis technology of two compared cars. The purpose of this work was not to familiarize the reader with adjusting wheel angles, but with the theoretical influence of angles on runnability and controllability of the car.</p> <p>Wheel angles were measured in different kind of in- and outbound situations in addition to find out natural frequency of suspension. This study is limited to driving situation, so there is no wheel angle changes. Side limits are not dealt with.</p> <p>As a result of this work there are diagrams where different wheel angles are found under different in- and outbound situations. With the results it is possible to roughly model handling in real driving situations.</p>			
Subject headings, (keywords) Suspension, steering, safety.			
Pages 35 + 12 appendices	Language finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Kari Ehrnrooth		Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ALUSTATEKNIikka	2
2.1	Alustatekniikkaan liittyvät yleiset käsitteet	2
2.1.1	Jousitettu ja jousittamaton massa.....	2
2.1.2	Pyöräntuenta	3
2.1.3	Jousitus ja iskunvaimennus.....	3
2.1.4	Kallistuskeskiö.....	4
2.1.5	Ohjaus	5
2.1.6	Pyörän asentokulmat.....	6
2.1.7	Sortokulma.....	11
2.1.8	Akselistokinematiikka.....	12
2.2	Alustarakenteet	13
2.3	Mittauksen suorittaminen	14
2.4	Mittaustulokset	18
2.4.1	Muutokset pyöräankulmissa	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
3	TURVALLISUUS.....	22
3.1	Aktiivinen turvallisuus.....	22
3.2	Passiivinen turvallisuus	23
3.2.1	Törmäystestien historiaa	23
3.2.2	Törmäystestit nykyään	24
3.3	Mercedes Benz 190Dc w110	26
3.4	Mercedes Benz E220 w212	27
4	YHTEENVETO	VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.
	LÄHTEET	36

LIITTEET

- 1 MB 190Dc Etupyörien camber-kulmamuutokset
- 2 MB 190Dc SAI-kulmamuutokset
- 3 MB 190Dc Takapyörien camber-kulmamuutokset
- 4 MB 190Dc Etuakselin dynaaminen joustoauraus
- 5 MB 190Dc Taka-akselin dynaaminen joustoauraus
- 6 MB 190Dc Kääntymiskulmien muutokset joustossa
- 7 MB E220 Etupyörien camber-kulmamuutokset
- 8 MB E220 SAI-kulmamuutokset
- 9 MB E220 Takapyörien camber-kulmamuutokset
- 10 MB E220Etuakselin dynaaminen joustoauraus
- 11 MB E220 Taka-akselin dynaaminen joustoauraus
- 12 MB E220 Kääntymiskulmien muutokset joustossa

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tarkoitus on selvittää, mihin suuntaan henkilöautojen alustatekniikka on edennyt viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana ja minkä takia autoa on kehitetty tähän suuntaan. Vertailun kohdeautot ovat viimeisimmän korisarjan Mercedes Benz W212 (2009-) ja Mercedes Benz W110 (1962-1968). Kohdeauton merkki oli selvä alusta alkaen, sillä omistan itse toisen autoista (Mercedes Benz 190Dc W110 (1963)). Kumpikin vertailtava auto edustaa aikansa huippuosaamista, ja ne on suunniteltu toimimaan erilaisissa olosuhteissa, erilaisilla suunnittelukriteereillä. Auton alustan tietyn ominaisuuden parantaminen on aina jonkin toisen ominaisuuden huonontamista. Äärimmäisen mukavaa ja samalla urheilullista ja turvallista alustaa ei siis ole mahdollista rakentaa. Käsitykset siitä, minkälainen auton alustan tulisi olla, muuttuvat yhteiskunnan kehityksen mukana, esimerkiksi tieverkoston parantumisen seurauksena.

Vertailuni toinen näkökanta on näiden kahden auton turvallisuus. Keskityn työssäni lähinnä passiiviseen turvallisuuteen oikeastaan siitä syystä, että 1960-luvulla ei vielä ollut ajotietokoneavusteisia turvapuskureita henkilöauton ympärillä. Passiivisen turvallisuuden tutkimisen kannalta Mercedes Benzin W110 on suorastaan loistava vertailtava uuteen vastaavaan, sillä se on yksi ensimmäisistä automalleista, joka on suunniteltu ja testattu myös kolaritilanteita varten. Toki turvallisuuden suunnittelu oli silloin vielä hieman erilaista ja alkeellista verrattuna nykyaikaan, mutta jostain on aina aloitettava.

Tarkoituksena oli myös simuloida molempien autojen alusta Tieteen tietotekniikan keskuksen CSC:n ohjelmistopankista saatavilla olevalla Adams-ohjelmistolla. Tämä idea unohtui kuitenkin nopeasti, kun sain selville, että käyttöoikeuksien saaminen venähtäisi pitkälle kevääseen, minkä jälkeen pitäisi vielä opetella käyttämään tätä kyseistä ohjelmistoa. Tämä luonnollisesti olisi lykännyt opinnäytetyön valmistumista liikaa. Tieteen tietotekniikkakeskus olisi kuitenkin luovuttanut alustatekniikan suunnitteluun varsin hyödyllisen Adams-ohjelmiston ilman minkäänlaisia käyttömaksuja. Saatavilla olisi myös eräs ohjelmisto, jolla pystyy mallintamaan auton käyttäytymistä kolaritilanteessa. Suurin rajoite, ainakin omalta osaltani, oli se, että sopimuksella käytännössä sidottiin käyttämään ohjelmaa vain oman koulun tietokoneilla. Tämä puolestaan sitoo opiskelijan käyttämään ohjelmaa vain koulun aukioloaikoina.

Työssä perehdytään yleisesti auton jousituksen toimintaan, pyöräkulmiin ja niiden vaikutuksiin auton ajettavuudessa, akselistokinematiikkaan, ohjausgeometriaan ja passiiviseen turvallisuuteen.

2 ALUSTATEKNIikka

2.1 Alustatekniikkaan liittyvät yleiset käsitteet

Seuraavassa luvussa käydään läpi alustatekniikkaan liittyvät yleisimmät käytetyt käsitteet. Pyöräkulmien säätöjen vaikutus auton hallittavuuteen ja erilaisten dynaamisten ajotilanteiden aiheuttamat muutokset pyöräkulmissa käyvät myös selväksi.

2.1.1 Jousitettu ja jousittamaton massa

Jousitettu massa on kaikki massa, joka sijoittuu auton jousien varaan. Jousitettu massa pitää sisällään muun muassa auton korin, matkustajat ja matkatavarat. Jousitetun massan ollessa auton jousien varassa on jousittamaton massa puolestaan kaikki auton osat, jotka ovat tien ja jousen välillä, eli renkaat, pyörännavat, pyöräntuenta ja jarrut.

Jousittamattoman massan ollessa pieni edistää se jousituksen toimintaa sallien jousituksen mukautua nopeasti tienpinnan epätasaisuuksiin. Kun jousitus pystyy nopeasti mukautumaan tienpinnan muotoihin, tarkoittaa se sitä, että rengas on jatkuvasti kosketuksissa tienpintaan, mikä on puolestaan hyvien ajo-ominaisuuksien edellytys. Jousittamaton massa vaikuttaa myös siihen, kuinka suuri osa renkaaseen kohdistuvasta voimasta välittyy auton koriin asti aiheuttaen epämukavaa pomppimista

Mitä suurempi jousittamaton massa on suhteessa jousitettuun massaan, sitä hitaammin jousitus pystyy reagoimaan tien pintaa vastaan. Mitä hitaammin reagoiminen tapahtuu, sitä epätasaisempi kyyti matkustajilla. Renkaan voimansiirto kyky perustuu renkaan ja tienväliseen kitkaan. Kitkaa on useampaa eri tyyppiä tien ja renkaan välillä. Adheesiokitka ja hystereesi, eli muodonmuutoksesta syntyvää kitka, ovat tärkeimmät renkaan ja tien kontaktia kuvaavat kitkalajit. Mikäli renkaalla ei ole kosketusta tiehen, ei se pysty välittämään myöskään voimaa mihinkään suuntaan. /3;4;5./

2.1.2 Pyöräntuenta

Pyöräntuennan tehtävänä on sallia pyörän ylös-alas-suunnassa tapahtuva joustoliike samalla johtaen kaikki pyörään kohdistuvat voimat ja momentit auton runkoon. Tuen tulisi vaimentaa tien pinnan epätasaisuuden aiheuttama värinä ja estää ohjaavien pyörien värähtely. Tuentalaitteiden jousittamaton massa tulisi olla mahdollisimman pieni ja niiden olisi sallittava myös hieman joustoa ajosuunnassa ja poikittaissuunnassa. Pyöräntuennan on myös pidettävä pyörän taso oikeana vaikka rengas joustaisikin pituus tai poikittaissuunnassa. Kaiken tämän lisäksi pyöräntuentaan vaikuttaa jarruttamisen ja kiihdyttämisen aiheuttama momentti.

Raidevälin muutokset tulisivat olla mahdollisimman pieniä tai niitä ei saisi tapahtua lainkaan. Raidevälin muuttuessa niin paljon että rengas työntyy luistoon sivusuunnassa, ei sillä ole enää kitkaa myöskään menosuuntaansa. /1;3./

2.1.3 Jousitus ja iskunvaimennus

Jousitus, iskunvaimennus ja pyöräntuenta yhdessä ovat merkittävät tekijät haettaessa erilaisia ajo-ominaisuuksia. Kuten jo aikaisemmin todettiin, samaan aikaan mukavaa ja urheilullista alustaa ei voi rakentaa, vaan alusta on aina mukavuuden ja ajettavuuden välinen kompromissi.

Jousituksen suunnittelun pääkohdat ovat suunniteltu kuormankantokyky, haluttu mukavuus/ajotuntuma ja viimeisenä se, ettei koko auton ominaisvärähtelytaajuus asetu samalle kohdalle kuin ihmiskehon ominaisvärähtelytaajuus on. Etuakselin ominaisvärähtelytaajuus olisi hyvä valita noin 10-20 % yli ihmisen kehon ominaisvärähtelytaajuuksien. Normaalin henkilöauton jousien ominaisvärähtelytaajuus asettuu noin 1,5 Hz+-0,5 lähettyville ja renkaiden ominaisvärähtelytaajuus on puolestaan noin 8-9 Hz henkilöautokäytössä.

Samoja ominaisvärähtelytaajuuden arvoja etu- ja taka-akselin välillä tulisi välttää, sillä ajettaessa auto tilanteeseen, jossa jousitus saa tietyn herätetaajuuden, alkaa edestakainen huojunta etu- ja taka-akselin välillä. Suurin vaikutus tällä seikalla on henkilöautoissa, joissa on lyhyt akseliväli tai istuinkorkeus tavanomaista ylempänä.

Ominaisvärähtelytaajuus kertoo käytännössä jousen jäykkyyden. Mitä suurempi taajuus, sitä jäykempi jousi on. Yksinkertaistetussa jousituksen mallinnuksessa vaikuttavia tekijöitä on vain kaksi, jousitettava massa ja jousen jäykkyys. Henkilöauton jousituksen suunnitteluun vaikuttaa kuitenkin edellisten lisäksi iskunvaimentimien vaimennussuhde, renkaan jousto, pyöräntuennan rakenteelliset tekijät, kallistuksenvakaus ja renkaan pyörimisnopeus. Renkaan pyörimisnopeus aiheuttaa lievää jäykistymistä auton nopeuden noustessa (1% / 30 km/h).

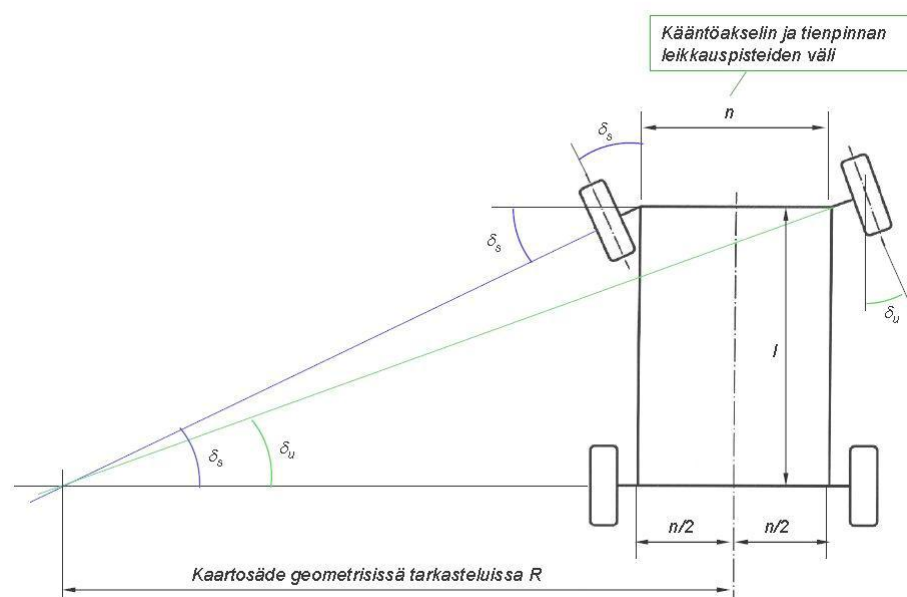
Suunnitteluun tuo suuria vaikeuksia se, että autoa ajetaan usein erilainen kuorma päällä. Esimerkkinä verrattaessa kahta samanlaista autoa, joista toisessa on kuormana pelkkä kuljettaja ja toisessa täysi kuorma eli kuljettaja + 4 matkustajaa + matkatavarat, ensin mainitussa on ominaisvärähtelytaajuus huomattavasti korkeampi kuin täyteen kuormatussa mallissa. Ratkaisuksi tähän ongelmaan on kehitetty progressiivisesti toimivia jousia ja ilmajousia, jotka pienentävät ominaisvärähtelytaajuuden suhteellista muuttumista. Raskaankaluston puolella on käytössä myös niin sanottuja kaksoisjousi ratkaisuja, joissa alkuperäisen jousen avuksi on asennettu toinen jousi. Jousi on asennettu toimimaan siten, että se ei ota osaa jousitustapahtumaan kuin vasta sitten, kun joko kuormaa on tarpeeksi alkuperäisellä jousella ja kori on laskenut tarpeeksi alas tai ajotilanteesta tulee äkkinäinen tarve hillitä kuorman kineettistä energiaa alaspäin. /1;3./

2.1.4 Kallistuskeskiö

Kallistuskeskiö on kuvitteellinen piste, jonka ympäri auton kori kallistuu esimerkiksi ajettaessa kurviin tai jarruttaessa. Kallistuskeskiön paikka määräytyy pyöräntuennan ja jousituslaitteiden asettelusta. Mitä lähemmäs korin painopistettä kallistuskeskiö on saatu sijoitettua, sitä vähemmän kori pyrkii kallistelemaan. Mikäli kallistuskeskiö olisi korkeammalla kuin korin painopiste, kallistelisi auton kori mutkassa sisäkurvin puolelle, ja puolestaan mitä alempana kallistuskeskiö on, sitä rajumpaa on kallistelu ulko-
kurvin suuntaan. Kallistuskeskiö on akselikohtainen. Kun etu- ja taka-akselin kallistuskeskiön välille kuvitellaan suora, saadaan kallistusakseli. /1;3;6./

2.1.5 Ohjaus

Käännettäessä autoa mutkaan olisi ideaalinen tilanne silloin kun yksikään rengas ei pääsisi luistamaan vaan kulkisi suoraan kääntöympyrän määräämän säteen mukaisesti. Tämä tilanne onnistuu käyttämällä kääntymiskulmina teoreettisesti oikean ohjausgeometrian arvoja (kuva 1). Teoreettisesti oikea ohjausgeometria toteutuu silloin kun kääntyvien pyörien kohtisuorat leikkaavat toisensa taka-akselin suuntaisella suoralla. Käytännössä vastaavat arvot toteuttava ohjausjärjestelmästä tulisi liian monimutkainen ja kallis.

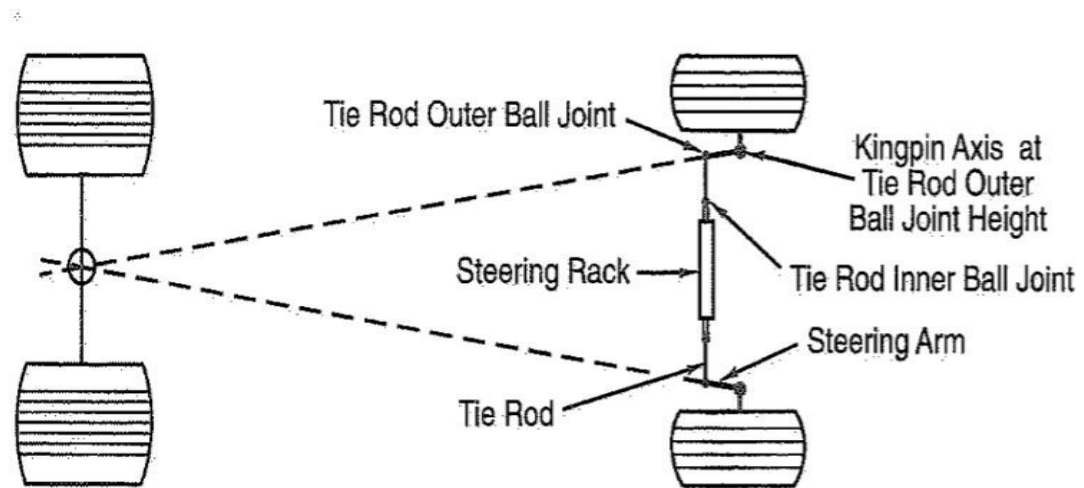


KUVA 1. Teoreettisesti oikea ohjausgeometria /1/

Mutkaan ajavan auton dynaaminen painon siirtymä ulommalle pyörälle aiheuttaa ongelmia teoreettisesti oikeilla arvoilla mitoitetulle ohjaukselle. Todellisuudessa ohjaukseen pyritään hakemaan jonkin verran dynaamista haritusta eli mutkassa ulompi pyörä laitetaan kääntymään vähemmän kuin teoreettiset arvot antavat ymmärtää. Tämä vähentää vaaraa menettää sivupito etuakselilla samalla vähentäen aliohjautuvuustaipeuksia. Tästä syystä on kehitelty erilaisia ohjausgeometrioita, joilla päästään jo hyvään lopputulokseen.

Ackerman-ohjaus

Ackerman-ohjauksesta puhutaan, kun ohjausvarret ovat käännettyinä pyörältä kohti auton pituussuuntaista akselia. Kuvassa 2 on 100 % Ackerman-ohjaus, mitä harvemmin tapaa käytännössä. Yleisempiä sovellutuksia ovat mm. 60-40 % Ackerman-ohjaukset.



KUVA 2. 100% Ackerman-ohjaus /6/

Anti-ackerman

Ohjausjärjestelmää, jossa ohjausvarret ja raidetanko on asetettu siten, että mutkassa sisempi pyörä kääntyy vähemmän kuin ulompi pyörä, kutsutaan Anti-ackerman ohjaukseksi.

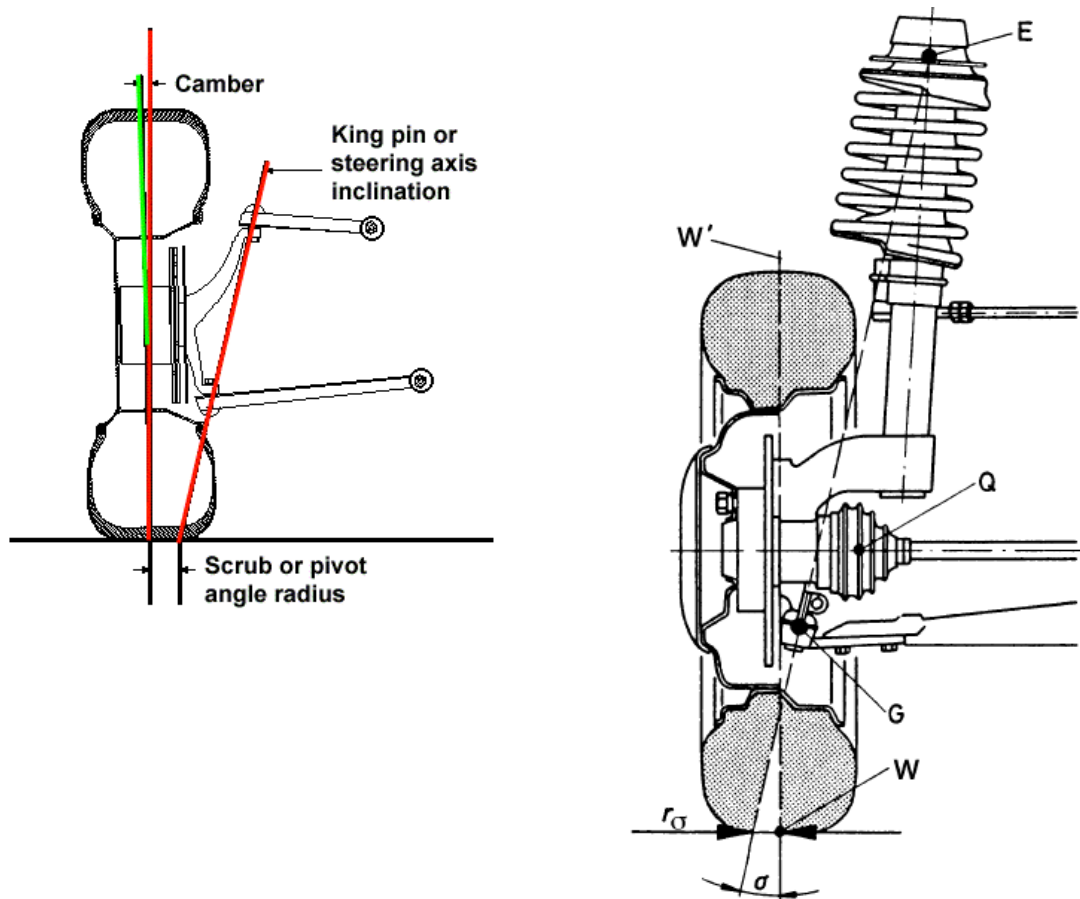
Tasaohjaus

Tasaohjauksesta puhuttaessa tarkoitetaan kokoonpanoa, jossa raidetangon päässä olevat kääntövarret ovat samansuuntaisia. /1;6./

2.1.6 Pyörän asentokulmat

Kääntöakseli on kuvitteellinen akseli, jonka ympäri pyörä kääntyy. Mikäli tuentaratkaisussa on käytetty kuningastappia, on kääntöakseli samansuuntainen kuin kuningastappi. Nykyisin normaalissa McPherson-tyylisessä tuennassa kääntöakseli kulkee tuentapisteen kautta eli iskunvaimentajan yläpäänlaakeroinnista alapalloniveleen. Kääntöakselin yhteydessä voidaan puhua myös olkapoikkeamasta (a-mitta), jolla tarkoitetaan sitä, miten tämän edellä mainitun kääntöakselin jatke sivuuttaa renkaan keskilinjaa tarkasteltaessa tilannetta renkaan sivusuunnassa. Mikäli kääntöakseli menee

keskilinjan yli ennen törmäämistä maanpintaan, on kyseessä negatiivinen olkapoikkeama, ja jos kääntöakseli ei mene keskilinjan ohi, on kyse positiivisesta olkapoikkeamasta. Olkapoikkeamalla pystytään vaikuttamaan auton ohjauspyörään tulevien kehämomenttien ja iskujen kovuuteen. Lyhyempi poikkeama aiheuttaa pienemmät rasitukset, ja suuremmalla on puolestaan etuna renkaiden kevyempi käänneltävyys paikallaan. Nykyinen suuntaus on mitoittaa olkapoikkeama nolaksi eli keskelle renkaan keskilinjaa, tai hieman negatiiviseksi. (kuva 3) /1;3./



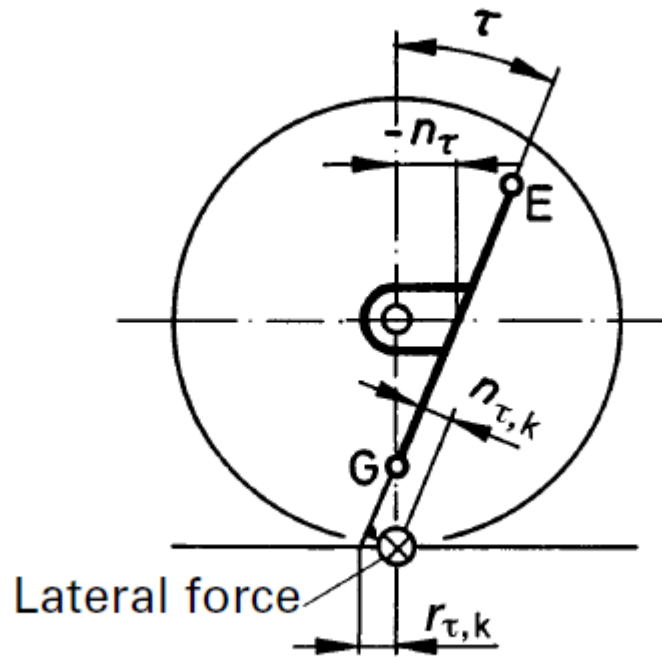
KUVA 3. Camber-kulma, SAI-kulma ja a-mitta, joka on vasemmalla positiivinen ja oikealla negatiivinen /3/

Kääntöakselin sivukallistuma (SAI=Steering Axis Inclination, KPI=King Pin Inclination) on kulma, johon kuvitteellinen pyörän kääntöakseli on asennettu. Sivukallistuma on pääsääntöisesti positiivinen eli kallistettuna kohti auton keskilinjaa. Nykyisin yleisin ohjaavan akselin tuentaratkaisu McPherson pakottaa rakenteensa takia käyttämään positiivista arvoa. Kääntöakselin sivukallistumalla pyritään pääasiassa pienentämään olkapoikkeamaa eli kääntövierinsädettä. Kääntöakselin sivukallistuma aiheuttaa myös ohjauksen palautuvuutta keskisuurilla pyörän kääntökulmilla johtuen siitä,

että auton keula nousee ylös käännettäessä renkaita. Keulan nostamiseen tarvitaan kuitenkin voimaa, jonka auton kuljettaja tekee kääntäessään ohjauspyörää. Seurauksena tästä tulee myös ohjaustehostimen tarve. /1;3./

Camber-kulma tarkoittaa renkaan sivukallistumaa, eli pyörän kulmaa, joka näkyy katsottaessa autoa edestäpäin. Camber-kulma on positiivinen, mikäli renkaan yläreuna on kallistunut ulospäin autosta ja autoon päin kallistuneena negatiivinen. Renkaan kulumisen kannalta olisi optimaalinen tilanne silloin, kun rengas kulkisi lähes suorassa tiehen nähden, eli camber $+0,1$ astetta, mutta kitkan ja ajo-ominaisuuksien takia joudutaan käyttämään tästä poikkeavia arvoja. Positiivisella camber-kulmalla voidaan vaikuttaa pienentävällä tavalla olkapoikkeamaan (mikäli olkapoikkeama on positiivinen), joskin renkaan toispuoleista kulumisen kustannuksella. Muita positiivisen camber-kulman eduiksi laskettavia ovat renkaan reagointiherkkyyden parantuminen ja myös tavallaan laakerivälyksien poistaminen esijännittämällä renkaan tietä vasten. Negatiivisella camber-kulmalla saadaan puolestaan sivuttaispitoa ja myös pidennettyä olkapoikkeamaa. Camber-kulman käytön haittapuolia ovat muun muassa heikentynyt veto- ja jarrutuspito ja toispuoleinen renkaan kuluminen. /1;3./

Caster-kulma on pyörän kääntöakselin takakallistuma. Caster-kulmalla on voimakas itse-oikaiseva vaikutus renkaalle. Caster on positiivinen kääntöakselin ollessa kallistettu pystysuorasta takaviistoon, eli kallistettuna kohti auton taka-osaa kuvan 4 osoittamalla tavalla.

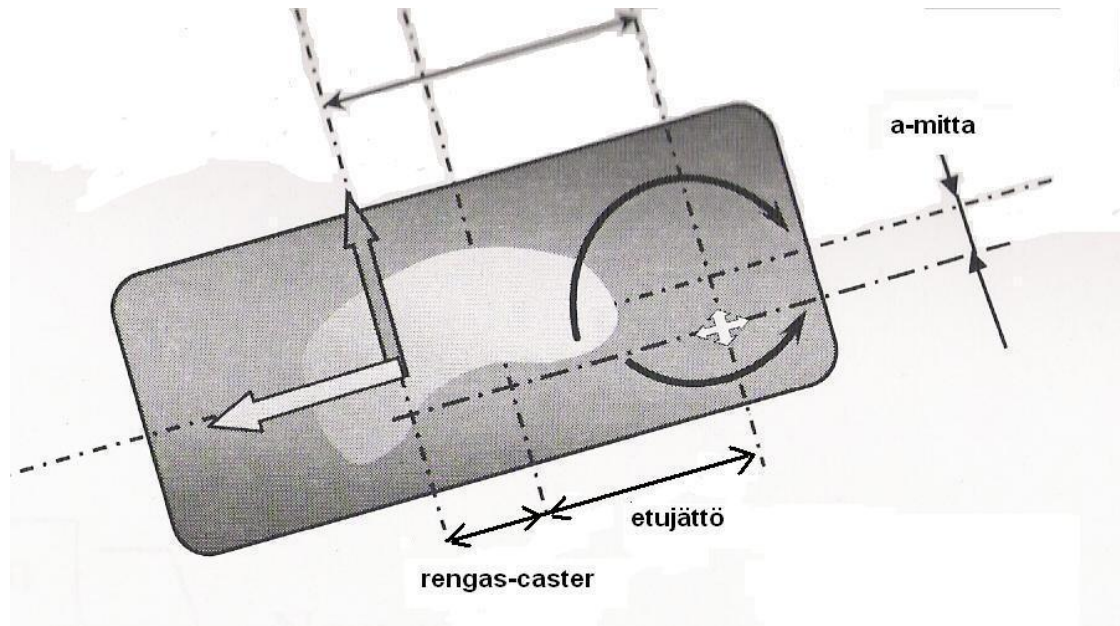


KUVA 4. Kreikkalainen kirjain Tao tarkoittaa caster-kulmaa, kulkusuunta vasemmalle

Casterin arvoina käytetään nolasta (0) asteesta noin kolmeen ja puoleen asteeseen (+3,5). Negatiivisia arvoja tulee vastaan lähinnä vain offroad-piireissä, joissa alustarakenteiden muuttaminen vastaamaan paremmin käyttäjien tarpeita maastokäytössä on aiheuttanut samalla myös tämän ajo-ominaisuuksia maantiellä huonontavan muutoksen. Kaarteissa ajettaessa caster pienentää ulomman pyörän sortokulmaa, lisää auton yliohtautuvuutta (vaikuttaa kasvattamalla auton pituusakselin suuntaista painonsiirtymää) ja lisää sivupitoa (aiheuttamalla negatiivista camberiä ulkokaarten puoleiseen pyörään). Liian suuri positiivinen kulma aiheuttaa renkaiden vapinaa, ja liian pienestä kulmasta aiheutuu ohjauksen hakemista suuremmilla nopeuksilla. Caster-kulman ansiosta kuljettaja kokee ohjausvoimat ohjauspyörässä. Ohjausvoimat, eli toisin sanoen tuntuma, koostuu kahdesta eri caster-kulman tekijästä.

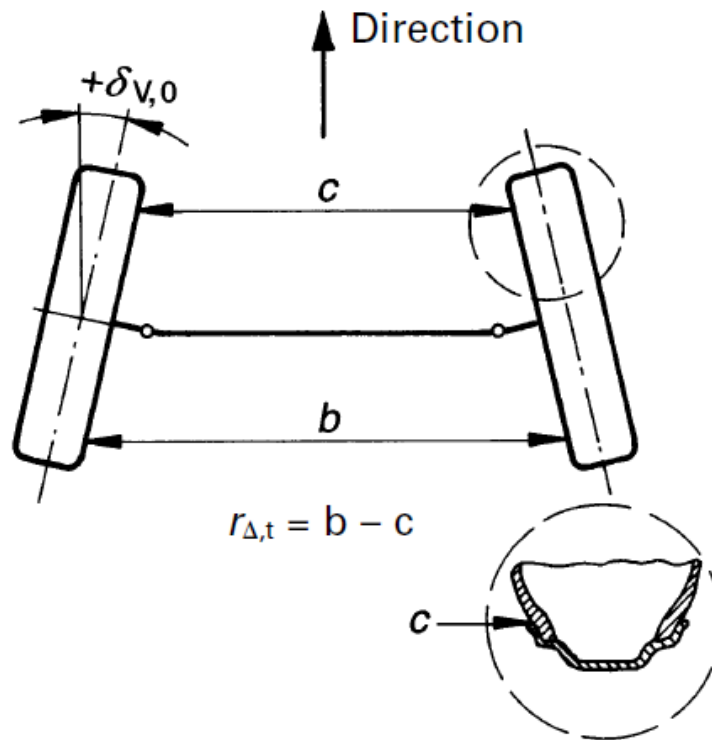
Etujättö (mechanical trail) tarkoittaa kääntöakselin renkaan keskilinjan etäisyyttä mitattuna tienpinnan tasossa. **Rengascaster** (pneumatic trail) tarkoittaa renkaan muodonmuutoksesta johtuvasta sivumomenttien muodostumista tien ja renkaan välisellä kosketuspinnalla, kuten kuvasta 5 selviää. Näiden sivumomenttien yhteisvaikutuksesta johtuva lievä positiivinen caster pyrkii kääntämään rengasta kääntöakselinsa ympäri

eli oikaisemaan pyörät. Näin ollen myös akselistorakenteet, jotka on suunniteltu casterin etujätön suhteen nollaan, saavat tällä renkaan ominaisuudella hieman rengasta itse-oikaisevaa vaikutusta. Renkaaseen tulevat sivuvoimat voivat myös aiheutua tien kaltevuudesta, mikä aiheuttaa luonnollisesti vastakkaisen momentin tarpeen ohjauspyörältä. Tien kaltevuuden aiheuttamaa ojan suuntaan puoltamista pystyy hallitsemaan säätämällä kuljettajanpuolen caster-kulmaa hieman pienemmäksi eli pienentämällä etujättöä luoden rakenteellisen vastakkaisen momentin rengascasterille. /1;3./



KUVA 5. Rengascaster ja etujättö

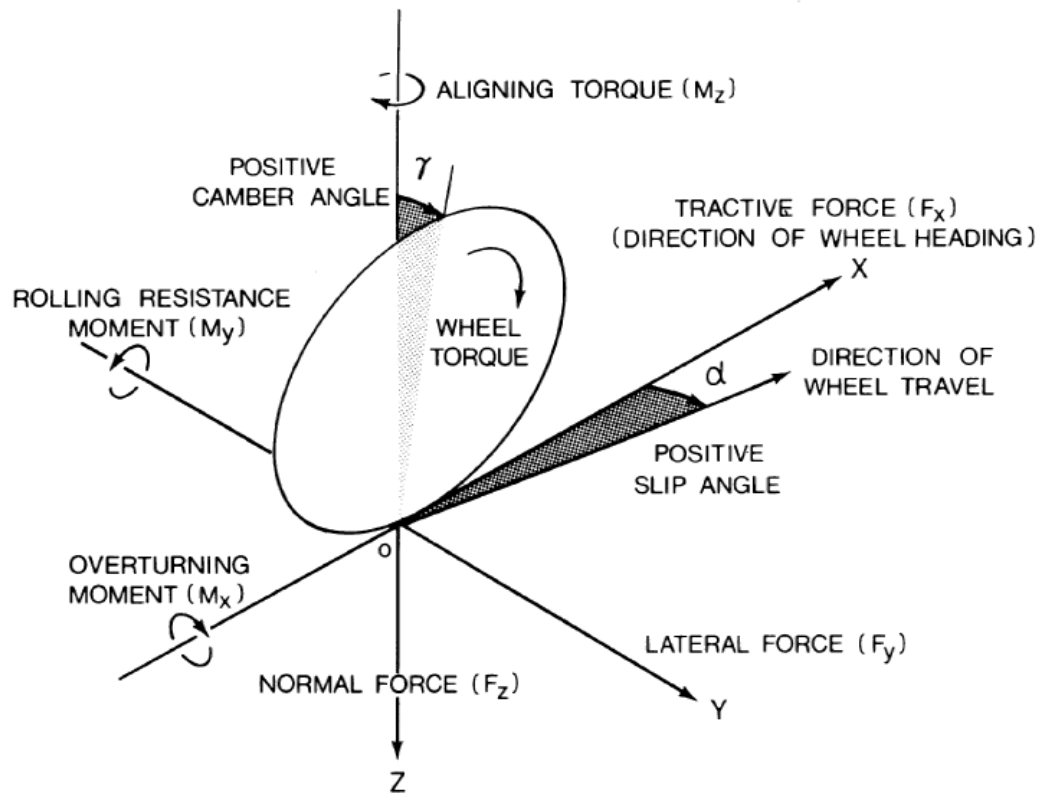
Auraus ja haritus (Toe-in – Toe Out) tarkoittavat renkaan etenemissuuntaa. Renkaiden etureunojen ollessa lähempänä toisiaan kuin takareunat, on tilanne tällöin aurausta (Kuva 6.) ja päinvastoin, kun takareunat ovat lähempänä toisiaan kuin etureunat, haritusta. Aurauksella ja harituksella pyritään kompensoimaan renkaan vierintävastuksen aiheuttamaa harituksen suuntaan kääntävää momenttia. Ajonopeuden kasvaessa kasvaa myös vierintävastus. Edellisen lisäksi, riippumatta vetotavasta, autossa tapahtuu kiihdyttäessä vetävän akselin pyöriä aurauksen suuntaan kääntävä momentti, jonka kompensoimiseksi on harituksen staattisella säädöllä suuri rooli. Aurauksella pystytään myös helpottamaan positiivisen camber-kulman aiheuttamaa renkaita toisistaan etäännyttävää vaikutusta (ja harituksella negatiivista). Auraus / haritus aiheuttaa aina ylimääräistä vierintävastusta, mistä seuraa renkaiden kulumista ja kasvanut polttoaineen kulutus. Tästä syystä auraus- ja harituskulman olisi oltava mahdollisimman pieni. Toisaalta ajateltuna aurauksen ja harituksen säädöillä pystytään vaikuttamaan erittäin paljon auton käyttäytymiseen mutkissa, yhdessä renkaan sortokulman kanssa. /1;3;6./



KUVA 6. Positiivinen auraus, negatiivinen haritus

2.1.7 Sortokulma

Renkaan sortaminen tarkoittaa renkaan kudusrungon ja kulutuspinnan joustamista sivusuunnassa suhteessa tien pintaan. Joustaessaan sivusuunnassa renkaalle on myös kehittynyt sivuvoima ja rengasta oikaiseva momentti. (kuva 7) Renkaan sortokulma kasvaa lineaarisesti samassa suhteessa sivuvoiman ja rengasta oikaisevan momentin kanssa niin pitkään kunnes rengas alkaa liukua. Normaalissa ajotilanteessa sortokulma pysyy nykyisin käytetyllä vyörenkaalla nollan (0) ja neljän (4) asteen välillä. /3;4./



KUVA 7. Positive slip angle = sortokulma

2.1.8 Akselistokinematiikka

Akselistokinematiikka tarkoittaa aiemmin esiteltyjen pyörän asentokulmien muutoksia jousto- ja/tai ohjausliikkeen vaikutuksesta. Näitä on esitelty jo aiemmissa kappaleissa selvyyden takia. Näillä asentokulmilla pystytään vaikuttamaan kaarreaajossa esimerkiksi yli- tai aliohjautuvuuteen.

Yksi tässä työssä mitatuista arvoista on **dynaaminen joustoauraus**. Kun autolla ajetaan tilanteeseen, jossa jousitus joutuu painumaan kasaan tai nousemaan täyteen mitaansa, muuttuvat alustan korkeuden lisäksi myös auras kulmat. Joustossa tapahtuva aurauksen muuttuminen pyritään yleensä minimoimaan sen aiheuttamien suurempien haittojen kuin hyötyjen vuoksi. Liian suuri joustoauraus huonontaa auton hallittavuutta ja aiheuttaa ylimääräistä renkaiden kulumista.

Raidelevyden muutos joustossa tarkoittaa renkaan sivuttaisliikettä. Tämä olisi ollut myös mielenkiintoinen mitattava, sillä vanhemman auton raidevälimuutokset ovat suorastaan valtavia johtuen taka-akselistorakenteesta. Raidellevyden muutokseen

joustossa liittyy yleensä myös camber-kulman muutosta negatiiviseen suuntaan ja vanhemman auton tapauksessa camber-kulma muuttui noin 10 astetta.

Kpi-kulma aiheuttaa käännetylle pyörälle camber-kulman muutosta positiiviseen suuntaan. Camber-kulman muutos positiiviseen suuntaan on hyödyksi sisäpuolen renkaalle (nykyisin paljon käytettyjen staattisessa tilanteessa negatiivisilla camberin arvoilla), sillä camberin aiheuttama sivuvoima pyrkii työntämään rengasta siihen suuntaan, mihin se on kallistettu. Toisin sanoen kpi-kulmalla pystytään kompensoimaan staattisen tilanteen negatiivinen camber muuttamaan käännetyllä pyörällä positiiviseen suuntaan enemmän tai vähemmän.

Kallistumajousto tarkoittaa auton kallistumista pituusakselinsa ympäri ja tästä seuraavia vastakkaisia kulmanmuutoksia vasemmalla ja oikealla puolella.

Tasajalkajouston tarkkailu tulee kysymykseen tilanteessa, jolloin autolla ajetaan tiellä esiintyviin laajoihin heittoihin jolloin auton kori joutuu painumaan lähemmäs maantietä. /3./

2.2 Alustarakenteet

Mercedes Benz 190Dc w110

Taka-akselina toimii heiluriakseli eli akseli, jonka jousitus on hoidettu kolmella jousella siten, että yksi jousista vääntää vetoakseleita ja samalla renkaita maata kohti, kahden muun taka-akselin pitkittäistukien päälle sijoitetun kierrejousen kaverina. Vetopyörästä on pultattu korin poikkipalkin läpi kiinni koriin ja nivelletty vetopyörästäön päästä. Rakenteelle on ominaista suurehko raidevälin muutokset, mikä saattaa liukkaalla kelillä ajettaessa epätasaisella tiellä olla vaaraksi sivuttaispidon häviämisen vuoksi.

Etujousitus puolestaan on hoidettu kahdella eripituisella tukivarrella. Tukivarsien toiset päät on nivelletty etuakseliin ja toiset päät kuningastappiin. Rengas kääntyy tietenkin kuningastapin määräämän akselin ympäri. Kierrejousi on sijoitettu tukivarsien väliin ja iskunvaimennin on puolestaan kiinnitetty alapäästään alatukivarteen ja yläpäästään sisälokasuojaan. Kallistuksen vakaaja kulkee loogisesti alatukivarrelta toiselle. (Kuva 8.)



KUVA 8. MB 190Dc w110 Etuakseli

Mercedes Benz E220 w212

Pyöräntuenta on etu- ja taka-akselilla hoidettu monipistetuentana. Jousitus on taka-akselilla alatukivarren ja korinväliin vierekkäin asennetuilla kierrejousella ja iskunvaimentimella. Korin kallistumista pyritään hillitsemään kallistuksen vakaajalla. Etuakselin jousitus on puolestaan toteutettu McPherson rakenteella kierrejousen ja iskunvaimentajan ollessa tavallaan yhtenäinen komponentti. Etuakselille on myös asennettu kallistuksen vakaaja.

2.3 Mittauksen suorittaminen

Vertailun tarkoituksena on tutkia kummankin auton alustaratkaisuja ja sitä, kuinka ne vaikuttavat auton käyttäytymiseen eri käyttötilanteissa. Vertailen autoissa toisiinsa pyöräntulmia staattisessa tilanteessa, joustossa ja ulosjoustossa. Mittauksissa selvitän myös molempien autojen kaarrekäyttäytymistä kaartoharituksien mittauksilla. Pyöräntulmien mittaamiseen käytän ammattikorkeakoulun omistamaa Hunterin 4-pyörän testauslaitetta.

Mittaus koostuu kolmesta vaiheesta: 1. Pyöränkulmat staattisessa tilanteessa, joustossa ja kevennetyssä. 2. Autojen massojen mittaukset, myös edellisen mittauksen kuormitus ja kevennystilanteissa. 3. Jousituksen ominaistajuuden määrittäminen heilahdus-senvaimentimien testauslaitteessa. Staattinen tilanne vastaa tasaisella tiellä ajamista, eikä näin ollen tarvitse erikoistoimenpiteitä, jotka poikkeaisivat normaalista pyöränkulmamittauksesta. Joustoa pyrin puolestaan mallintamaan vetämällä autoa liinalla alaspäin, kohti ajosiltaan vasten poikittain asetettua riittävän vahvaa teräsputkea. Keventtäminen onnistuu näppärästi ajosiltaan asennetulla paineilmatoimisella nosturilla. Tämä paineilmatoiminen nosturi kykenee nostamaan vain vähäisiä matkoja, mistä syystä se tunnetaan nimellä. Tämä kyseinen kevennin on varustettu rullilla, joten sitä voi liikuttaa ajosillalla siihen kohtaan, missä sitä tarvitsee.

Tieto voimasta, jolla jousitusta kuormitetaan tai kevennetään, saadaan pyöränkulmien mittauksen aikana mitatusta pyörän navan etäisyydestä lokasuojankaareen. Pyörännavan etäisyys lokasuojan kaareen tulee mitata jokaisessa kuormitus- ja kevennystilanteessa erikseen. Mittausten toisessa vaiheessa autosta puretaan pois pyöränsuuntauksessa käytettävät mittavälineet ja korvataan ne autovaa'alla. Autovaa'aa pitää kalibroida ennen sen asentamista auton alle. Auton renkaiden ollessa tukevasti vaakojen päällä vedetään jousitusta taas kasaan. Renkaan navasta kaareen mitan ollessa sama kuin ensimmäisessä vaiheessa mitatut mitat, luetaan vaa'asta lukemat, kirjataan ne ylös ja jatketaan kohti seuraavaa mittauskohtaa. Kolmas vaihe selvittää jousituksen, iskuvaimentimen, pyöräntuennan ja renkaiden aiheuttaman koko auton ominaisvärähtelytaajuuden. Tätä kautta päästään laskennallisilla menetelmillä selvittämään jousituksen toimintaa hieman pidemmälle.

Mittaus 1.

Pyöränkulmamuutokset jousto- ja ulosjoustotilanteessa. Auto ajetaan ajosillalle, minkä jälkeen asennetaan mittauspeilit jokaiseen vanteeseen. Seuraavaksi testilaitte käskyy liikuttaa autoa edestakaisin ajosillalla kalibroidakseen mittauspeilit. Mittauspeilien kalibroimisen jälkeen opastaa testilaitte kytkemään jarrupolkimen lukituksen ja kääntämään ohjauspyörää niin, että renkaat ovat suorassa, seuraavaksi 20 astetta vasemmalle, 40 astetta oikealle ja taas suoraan. Auto nostetaan keventimellä ylös ja kääntölevyt asetetaan renkaiden alle. Oikeiden pyöränkulmien pitäisi ilmaantua ruudulle, kunhan mittauspeilit on käännetty vaakatasoon. Otetaan mitta jokaisen pyörän navasta, lokasuojan kaareen. Seuraavaksi voi edetä halutessaan puristamaan joko jousitusta

kasaan (kuva 9) tai keventämään jousituksen kuormaa (kuva 10) pitäen samalla huolen, että muistaa kääntää mittapeilit oikeaan asentoon ja ottaa mitta pyörän navasta lokasuojan kaareen jokaisen kuormitusmuutoksen kohdalla.

Jousitusta puristetaan kasaan sentti sentiltä, liinan ja räikän avulla, samalla mitaten pyöräntulmien muutokset. Kuormitusta jousille tulisi saada tarpeeksi, jotta myöhemmin joustossa tapahtuvat radikaalit muutokset saataisiin esille. Etuakselin osalta kannattaa suorittaa myös pyörien kääntymiskulmien mittaukset käyttäen apunaan testilaitteen ilmoittamaa aureauksen arvoa. Testilaitteen näyttäessä esimerkiksi vasemman pyörän aureauksen arvoksi 0,00 astetta ja oikean pyörän arvoksi +1,00 on auraus asetettu +1,00 asteeseen. Käännettäessä vasen pyörä +5,00 asteeseen on vasemman pyörän kääntymiskulma 5,00 astetta ja oikean pyörän kääntymiskulma $x-1,00$.



KUVA 9. Jousituksen kuormittaminen liinan ja räikän avulla

Mittausotannoista suurin osa kannattaa sijoittaa alueelle, jolla on odotettavissa radikaaleja muutoksia, joten yleensä alussa voi edetä hieman suuremmilla askelilla jättäen esimerkiksi joka toisen sentin kohdalla mittaamatta. Mittausotantoja olisi hyvä olla myös tarpeeksi, sillä liian pienellä otannalla ei pysty tekemään edes arvioita siitä, kuinka jousitus ja pyöräntuenta toimivat.

Liinan kiinnityskohta autossa kannattaa valita harkiten, sillä voima, jonka jousitusta kasaan puristaessa tarvitaan, on yllättävän suuri. Vanhan auton tapauksessa loogisin vaihtoehto oli pujottaa liina paksun etu-akselin ympäri ja taka-akselilla puolestaan vetopyörästä ympäri pujottaen liina sopivista väleistä, ettei se päässyt luiskahtamaan vetoakseleiden päälle. Uuden auton kiinnityspisteet aiheuttivat hieman miettimistä, mutta vasta mittauspäivänä selvisi, että pohjajanssarit kätkevät sisäänsä vankahkon ja paksuseinämäisen suurlujuusteräsputkesta rakennetun apurungon. Taka-akselin takapuolelta löytyi myös pyöräntuennan tukirakennelma, mistä autoa uskalsi vetää alaspäin.



KUVA 10. Auton jousituksen kuorman keventäminen

Mittaus 2.

Pyöräntuennan mittaamisen jälkeen puretaan käytetty laitteisto irti autosta. Seuraavaksi kalibroidaan autovaaka ja nostetaan auto vaakojen päälle. Tämän jälkeen suoritetaan auton keventäminen ja kuormittaminen pyöräntuennanmittauksessa käytettyihin mittauskohtiin ja kirjataan arvot ylös myöhempää käyttöä varten.

Mittaus 3.

Auto ajetaan heilahduksen vaimentimien testauslaitteelle. Testi ajetaan läpi ja tallennetaan tulokset tietokoneelle.

2.4 Mittaustulokset

Tässä luvussa esitellään tärkeimmät havaitut eroavaisuudet näiden kahden auton välillä. Yksityiskohtaisemmat mittaustulokset tulevat kuvaajien muodossa opinnäytetyön liitteinä.

Mercedes Benz 190Dc w110

Pyöränkulmat eivät olleet säilyneet tehtaan asettamissa rajoissa, mikä on ymmärrettävää lähes 50 vuotta vanhalle autolle. (Kuva 11.)

Ajoneuvon mittaus ja säätö.			
Mercedes-Benz 61-68 110			
Etu	Vasen		Oikea
Camber	0°25'		-1°10'
Camber-ero		1°35'	
Caster	2°35'		1°13'
Caster-ero		1°22'	
SAI	15°57'		19°11'
Ero SAI:ssa		-3°15'	
Auraus	1°28'		-1°24'
Kokonaisauraus		0°04'	
Takapää	Vasen		Oikea
Camber	0°40'		0°32'
Camber-ero		0°08'	
Auraus	-0°01'		0°07'
Kokonaisauraus		0°06'	
Kulkukulma		-0°04'	
Tallenna mittausarvot "ennen" suuntausta.			
	Näytä Graafisesti	Näytä Lisää Mittaustuloksia	Talleta Arvot "Ennen" Säätöjä

KUVA 11. MB 190Dc w110 pyöränkulmat staattisessa tilanteessa

Mittauksissa selvisi olkatapin sivukallistuma (SAI), pyörän sivukallistuma (camber), olkatapin takakallistuma (caster) ja aurauskulmat. Etuakselin SAI:n arvot vaikuttavat suoraan myös camber-kulmien arvoihin, sillä olkatappi on teoriassa samaa kappaletta

pyörännävän kanssa. SAI-kulman mennessä positiiviseen suuntaan muuttuu camber-kulma samassa suhteessa negatiiviseksi.

SAI-kulman säätöarvot ovat 5,5 \pm 0,167 astetta, joten vasemman puolen olkatapin sivukallistumassa on 9,9 astetta ja oikean puolen olkatapissa 13,4 astetta liikaa kallistumaa. Camber-kulmien toleranssit ovat puolestaan 0,50 \pm 0,167 astetta, joten vasen etupyörä osui ohjelman tietokantojen mukaan jo tarpeeksi lähelle silti heittäen alarajasta vielä 0,08 astetta. Oikean puolenpyörässä puolestaan heittoa oli 1,4 astetta negatiiviseen suuntaan.

Olkatapin takakallistuman (casterin) arvojen pitäisi osua 3,5 \pm 0,25 asteeseen, eli vasemman etupyörän asennossa on virhettä noin 0,9 astetta ja oikealla noin 2,1 astetta negatiivista casteriä.

Mercedes Benz E220 w212

Kuten uudelta autolta voi odottaa, olivat pyöräkulmat kohdillaan staattisessa tilanteessa. (Kuva 12.)

Ajoneuvon mittaus ja säätö.

Mercedes-Benz : 212 (E luokka 2009-) : takavetoinen : teräsjousi jousitus eurooppalainen versio/USA : Standard jousitus (Code 485)

Etu	Vasen	Oikea
Camber	-0°32'	-0°44'
Camber-ero	0°12'	
Caster	6°26'	6°27'
Caster-ero	0°00'	
SAI	13°03'	13°28'
Ero SAI:ssa	-0°25'	
Auraus	0°08'	0°07'
Kokonaisauraus	0°15'	
Takapää	Vasen	Oikea
Camber	-1°02'	-1°05'
Camber-ero	0°03'	
Auraus	0°09'	0°08'
Kokonaisauraus	0°16'	
Kulkukulma	0°01'	

Tallenna mittausarvot "ennen" suuntausta.

Näytä Graafisesti Näytä Lisää Mittaustuloksia Talleta Arvot "Ennen" Säätöjä

KUVA 12. MB E220 w212 staattisen tilanteen pyöräkulmat

Taulukossa 1 näkyvät MB 190Dc w110 pyöräntulmamuuuokset, kun kuormitettu-na/kevennettyä on etuakseli. Taulukoissa massat ovat pyöräkohtaisia.

TAULUKKO 1. MB 190Dc etuakselin mittaustulokset

	Etu-akseli			Kokonaisaura	Massa	Taka-akseli	
	Camber	Caster	SAI			Camber	Kokonaisaura
Kevennetty 5	0,12	2,47	13,53	0,58	-249	0,47	0,22
Kevennetty 4	0,10	2,47	13,55	0,55	-168	0,45	0,22
Kevennetty 3	0,22	2,47	13,43	0,48	-104	0,47	0,21
Kevennetty 2	0,29	2,47	13,37	0,46	-40	0,47	0,21
Kevennetty 1	0,45	2,47	13,21	0,31	-13	0,48	0,20
Normaali	0,25	2,35	15,57	0,04	0	0,40	0,06
Kuormitettu 1	-0,06	2,35	16,28	-0,17	87	0,37	0,03
Kuormitettu 2	-0,22	2,35	16,44	-0,22	116	0,37	0,03
Kuormitettu 3	-0,57	2,35	17,18	-0,19	142	0,34	0,03
Kuormitettu 4	-1,15	2,35	17,37	-0,24	170	0,33	0,03
Kuormitettu 5	-1,34	2,35	17,56	-0,20	229	0,32	0,02

Muuuot caster-kulmassa, normaalin ja kevennetyn välillä on todennäköisesti vain vir-he mittaauksessa tai välystä kuningastapissa, sillä rakenteellista casterin muuutosta ei tällä tuentaratkaisulla pitäisi olla. Mitatut arvot vaikuttavat olevan oikein.

Taulukossa 2 selviää taka-akselin pyöräntulma muuutokset.

TAULUKKO 2. MB 190Dc taka-akselin mittaustulokset

	Etu-akseli			Kokonaisaura	Massa	Taka-akseli	
	Camber	Caster	SAI			Camber	Kokonaisaura
Kevennetty 5	0,43	2,47	13,22	0,21	-359,50	5,06	0,16
Kevennetty 4	0,40	2,47	13,25	0,23	-328,50	4,38	0,16
Kevennetty 3	0,38	2,47	13,28	0,20	-293,50	3,19	0,20
Kevennetty 2	0,39	2,47	13,26	0,21	-162,50	2,23	0,20
Kevennetty 1	0,38	2,47	13,28	0,19	-133,50	1,36	0,20
Normaali	0,25	2,35	15,57	0,04	0	0,40	0,06
Kuormitettu 1	0,14	2,35	16,07	-0,03	40,50	0,08	0,03
Kuormitettu 2	0,16	2,42	17,37	0,12	69,50	-1,07	0,33
Kuormitettu 3	0,16	2,42	17,37	0,14	119,50	-1,40	0,26
Kuormitettu 4	0,16	2,42	17,37	0,14	147,50	-1,59	0,28
Kuormitettu 5	0,16	2,42	17,37	0,14	176,50	-2,16	0,28
Kuormitettu 6	0,16	2,42	17,37	0,17	235,50	-3,20	0,28
Kuormitettu 7	0,14	2,42	17,39	0,20	281,50	-4,55	0,07

Taulukko 3 puolestaan on MB E220 w212 pyöräntulmamuuuoksista etuakselilla.

TAULUKKO 3. MB E220 etuakselin mittaustulokset

	Etu-akseli					Taka-akseli	
	Camber	Caster	SAI	Kokonaisauraus	Massa	Camber	Kokonaisauraus
Kevennetty 4	1,20	6,26	11,10	0,28	-406	-1,18	0,17
Kevennetty 3	1,03	6,26	11,28	0,30	-180	-1,09	0,15
Kevennetty 2	0,20	6,26	12,10	0,28	-100	-1,06	0,17
Kevennetty 1	-0,21	6,26	12,52	0,18	-33	-1,04	0,18
Normaali	-0,32	6,26	13,03	0,15	0	-1,02	0,16
Kuormitettu 1	-0,34	6,26	13,04	0,11	20	-1,02	0,16
Kuormitettu 2	-0,40	6,26	13,10	0,08	47	-1,02	0,17
Kuormitettu 3	-0,48	6,26	13,18	0,04	95	-1,01	0,16
Kuormitettu 4	-0,51	6,26	13,22	0,00	144	-1,00	0,17
Kuormitettu 5	-0,52	6,26	13,22	-0,01	211	-0,58	0,15

Taulukosta 4 löytyvät MB E220 w212 taka-akselin pyöräntulmamuuutokset.

TAULUKKO 4 MB E220 taka-akselin mittaustulokset

	Etu-akseli					Taka-akseli	
	Camber	Caster	SAI	Kokonaisauraus	Massa	Camber	Kokonaisauraus
Kevennetty 4	0,13	6,26	12,18	0,23	-334,50	0,44	-0,28
Kevennetty 3	-0,10	6,26	12,40	0,19	-222,50	0,07	-0,11
Kevennetty 2	-0,17	6,26	12,48	0,18	-113,50	-0,15	-0,01
Kevennetty 1	-0,25	6,26	12,56	0,15	-49,50	-0,44	0,10
Normaali	-0,32	6,26	13,03	0,15	0,00	-1,02	0,16
Kuormitettu 1	-0,31	6,26	13,01	0,14	100,50	-1,38	0,27
Kuormitettu 2	-0,31	6,26	13,01	0,12	148,50	-1,57	0,31
Kuormitettu 3	-0,30	6,26	13,00	0,14	208,50	-2,20	0,34
Kuormitettu 4	-0,28	6,26	12,58	0,12	273,50	-2,45	0,37
Kuormitettu 5	-0,24	6,26	12,55	0,16	298,50	-2,52	0,37

3 TURVALLISUUS

Henkilöauton turvallisuus on jaettu kahteen osa-alueeseen: aktiiviseen ja passiiviseen turvallisuuteen. Aktiivinen turvallisuus käsittää onnettomuutta ennalta ehkäisevät tekijät, ja passiivinen turvallisuus puolestaan tarkoittaa sitä, kuinka hyvin auto pystyy minimoimaan henkilövahingot kolarin tapahtuessa.

Törmäystestit keskittyvät siis testaamaan vain auton passiivista turvallisuutta.

3.1 Aktiivinen turvallisuus

Aktiivinen turvallisuus tarkoittaa kolarin välttämistä ennalta ehkäisevästi. Turvallisuuden kannalta kenties ainoa huonontunut seikka henkilöautoissa on autosta ulos näkemisen heikkeneminen paksujen A-, B- ja C- pilareiden takia. Ikkunapinta-ala on kyllä suurentunut, mutta samalla on kasvatettu pilareita, joten lopputulos on joissain tapauksissa jopa huonompi kasvaneiden katvealueiden takia. Parannusta on tapahtunut osittain jopa korvaamaan tämä ulosnäkemisen puute, ja näinpä auto vahtii itse omaa ympäristöään tutka- ja videojärjestelmiensä kautta. Näiden järjestelmien perusteella auto osaa esimerkiksi jarruttaa juuri ennen onnettomuutta, ilman minkään näköistä kuljettajan reaktiota laskien todellista törmäysnopeutta huomattavasti.

Tärkeimpiä tekijöitä aktiivisessa turvallisuudessa ovat ajovalot, ulosnäkemisen helpous sekä auton huomattavuus (eli kuinka helposti auto pystytään havaitsemaan liikenteessä) että nykyaikaiset tutka- ja videojärjestelmät.

Aktiivisen turvallisuuden seuraava merkittävä edistys askel lienee ajoneuvojen sijaintitietojen yleinen jakaminen, jonka avulla autot tietäisivät, missä kukakin on menossa ja pystyisi näin ollen välttämään yhteentörmäykset. Autojen liikkeiden tarkkailu on herättänyt kuitenkin paljon spekulatiota aiheesta, kuinka liikenteen valvonta voisi siitä hyötyä esimerkiksi katsastamattoman tai huonokuntoisen auton havaitsemisessa.

3.2 Passiivinen turvallisuus

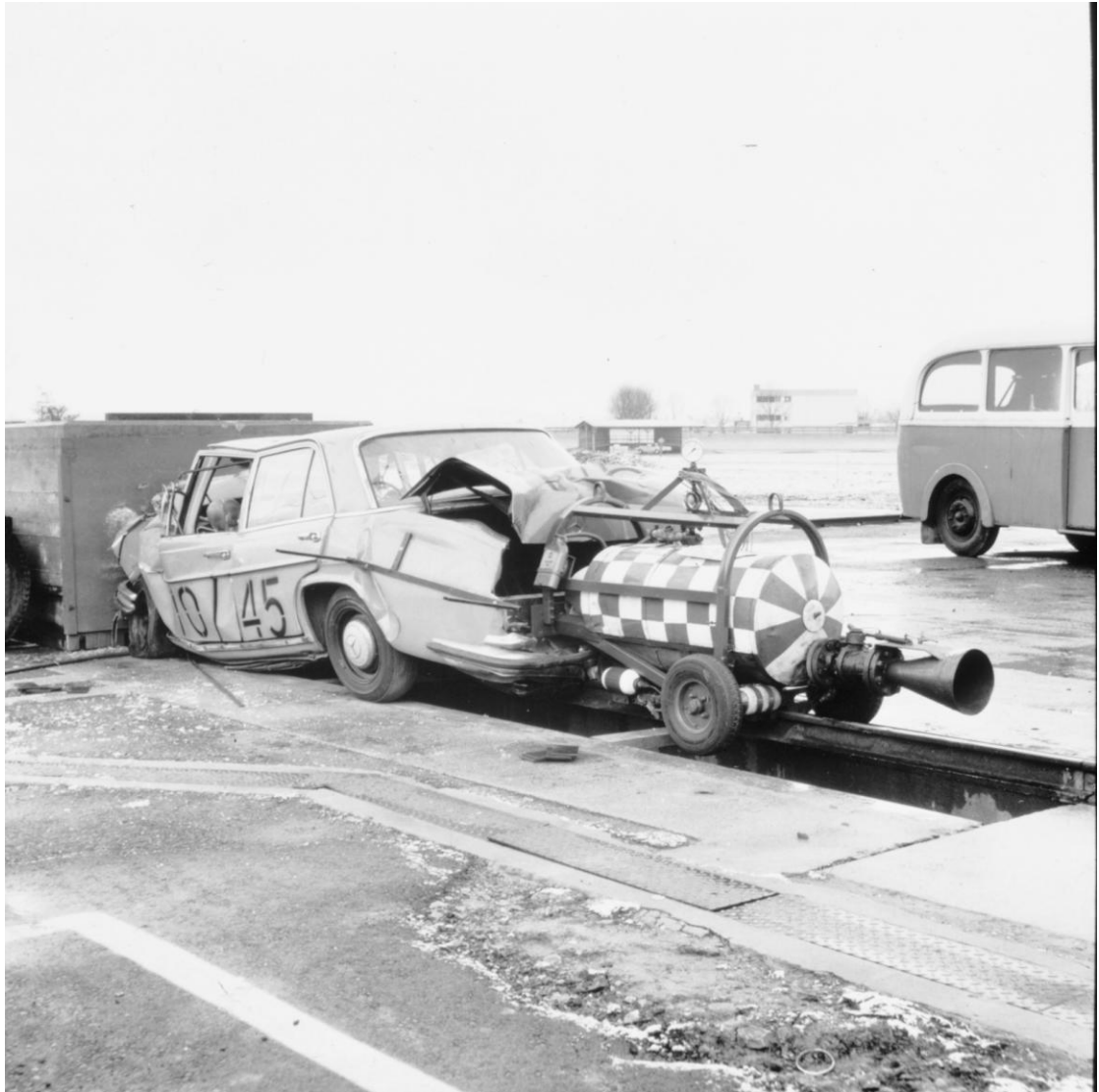
Passiivinen turvallisuus tarkoittaa auton kykyä suojella ihmishenkiä kolaritilanteessa. Materiaalitekniikan ja tietotekniikalla hoidetun mallintamisen kehittymisen ansiosta on pystytty optimoimaan korin kestävyys kolaritilanteessa. Harmi sinänsä, autojen korit mitoitetaan nykyisien törmäystestien testausnopeuksiin eli 64km/h, kun törmäyksiä tapahtuu paljon vielä kovemmissa nopeuksissa. Passiivisen turvallisuuden äärimmäinen esimerkki on helposti havaittavissa F1-autoista. Kotelomainen kuljettajaa suojaava ohjaamo, kuusipistevyöt, tukeva istuin ja oikein muotoiltu ja pehmustettu ratti pystyvät suojaamaan kuljettajan erittäin hyvin yhdessä ratoja ympäröivän rengasvallin ja hiekoitetun turvaetäisyyden kanssa. Nopeudet saattavat nousta korkeiksikin ja tilannenopeudet ovat harvoin alle 100 km/h. Silti kuljettaja nousee yleensä autostaan ylös vilkuttelemaan yleisölle, että ei hätää.

Passiivisen turvallisuuden tärkeimmät tekijät ovat ohjaamon kasaan puristumattomuuskyky, turvavyöt sekä nykyisin myös turvatyyny. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat muun muassa ohjauspyörän, ovenkahvojen, kojetaulun katkaisijoiden ja muiden matkustajien ulottuvissa olevien ulokkeiden valmistaminen joustavista, mahdollisimman vähän vahinkoa kolaritilanteessa aiheuttavista materiaaleista. Nykyisin yksi tärkeimmistä mittauksista koskee jalankulkijan turvallisuutta.

3.2.1 Törmäystestien historiaa

Mercedes Benz suoritti ensimmäisen törmäystestinsä 10. syyskuuta 1959. Testi oli ensimmäisiä törmäystestejä, mitä oli henkilöautoilla tehty. Testiautona toimi Mercedes Benz 220 W111 (1959). Testi suoritettiin kiihdyttämällä auto koko keulan alueelle osuvaan kiinteään esteeseen. (kuva 13) Testin tuloksia analysoitiin, ja maaliskuuhuhtikuun vaihteessa vuonna 1960 he järjestivät uuden 3 päivän pituisen testiperiodin. Tällä kertaa he suorittivat aiempaa monipuolisemman testin, jolla pyrittiin simuloimaan todellisia onnettomuuksia, ensimmäistä testiä monipuolisemmin. Ensimmäisen testin lisäksi ajatettiin kahdella samankokoisella autolla kylkikolari ensimmäisen auton osuessa toiseen hieman takaviistosta. Viimeinen koe oli ympäriajo, joka järjestettiin niin, että auton oikean puolen pyörät ajettiin korkean rampin yli 80 km/h nopeudella, mistä auto sinkoutui ilmaan kääntyen samalla pitkittäisakselinsa ympäri ja laskeutuen katolleen. Törmäystesteissä Mercedes Benzin insinöörit totesivat kehittäneen-

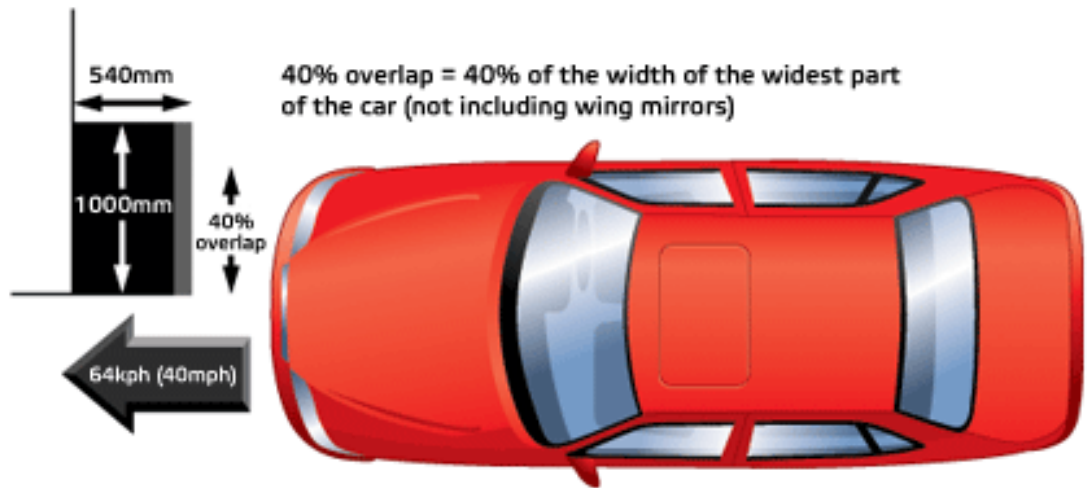
sä korirakenteen, mikä selkeästi paransi matkustajien mahdollisuuksia selvitä hengissä auton ohjaamossa, keskittymällä muuttumattomaan ohjaamotilaan ja törmäyksen liike-energian käyttäviin törmäysalueisiin.



KUVA 13. Mercedes Benzin järjestämiä ensimmäisiä törmäystestejä

3.2.2 Törmäystestit nykyään

Törmäystestit ovat yleistyneet ja uudistuneet. Nykyaikana auton keulaan kohdistuvan törmäyksen testiä on vaikeutettu vastaamaan nykyistä vaatimustasoa. Kiinteä este, johon auto kiihdytetään, ei ota enää tasaisesti koko auton keulan alueelle, vaan pelkästään noin 40 %:n auton keulasta. Samalla on myös standardisoitu testissä käytetty törmäysnopeus 64 km/h. (kuva 14) Törmäys kiinteään esteeseen tuolla nopeudella vastaa henkilöautojen keulakolaria nopeudella 55 km/h perustuen keulan rakenteiden kokoon painumiseen. /7./



KUVA 14. Keulaan kohdistuva törmäystesti

Muut Euro NCAP:n käyttämät törmäystestit ovat sivutörmäys toiseen autoon nopeudella 50 km/h ja sivutörmäys tolppaan nopeudella 29 km/h. Peräänajotilannetta ei ole pyritty mallintamaan muuten kuin piiskaniskuvammojen tutkimista varten, eli varsinaista peräänajotestiä ei suoriteta. (kuva 15)



KUVA 15. Opel Astrassa käytetty istuin Euro NCAP:n testissä

Yhdeksi tärkeimmistä testissä arvosteltavaksi arvoksi on nostettu jalankulkijan huomioiminen. Paras vaikutuskeino jalankulkijan selviämiseksi yhteentörmäyksestä on kaiken ylimääräisen jäykkyyden poistaminen auton pintarakenteista. Jalankulkijaystävällisessä nykyautossa puskurit ovat suunniteltu joustaviksi ja konepelti on rakennettu siten, että jalankulkijan pään osuessa siihen ei hidastuvuus olisi liian rajua (kimmoisus). /7./

3.3 Mercedes Benz 190Dc w110

1960-luvulle tultaessa Mercedes Benz tarvitsi markkinoille edullisemman henkilöauton w111-mallin rinnalle. w111:sta karsittiin pois erinäisiä hintoja nostavia yksityiskohtia ja kustannusten pienentämisen seurauksena syntyi uusi korimalli w110. Suurin muutos näiden kahden korimallin välillä oli moottorin vaihtuminen 6-sylinterisestä 4-sylinteriseksi, minkä seurauksena w110:n koria lyhennettiin keulasta noin 14 cm. Runkopalkit ja akselistojen sijainnit suhteessa toisiinsa pysyivät kuitenkin samoilla sijoillaan kuin w111-mallissa, joten törmäystestien tulokset ovat vertailukelpoisia myös w110-korimallille.

Mersun korin turvallisuus on ajateltu siltä kannalta, että ohjaamotila pysyy muodossaan siitä syystä, että voima oli johdettu keulasta ja auton takaosasta ensin törmäysalueeseen. Törmäysalue muuttaa kineettisen energian runkopalkkien hallituksi muodonmuutokseksi, eikä näin ollen törmäyksen aiheuttama kineettinen energia pääse tekemään tuhojaan ohjaamon puolelle. Mersun keulan törmäysalue koostuu pääasiassa rungon pitkittäisistä palkeista ja etummaisesta poikittaispalkista. Idea oli, että pitkittäiset palkit olisivat helpompia painumaan kasaan kuin ohjaamo. Palkit tekevät kahdella taitoksella mutkan etuakselin yli vahvistuen edetessään kohti ohjaamon lattiapeltejä ja helmakoteloita. Sama tilanne toistuu auton takapäässä, mistä osittain johtuu takakontin pitkähkö taka-akselin ylitys. Takapuskuri ottaa törmäyksen ensin vastaan ja pitkittäiset palkit, jotka vahvistuvat ohjaamoä päin mennessä, alkavat painua kasaan. Periaate on siis se, että kaikki liike-energia saataisiin purettua törmäyksestä tarpeeksi vahvoilla palkeilla ja pitkillä kasaan puristuvilla törmäysalueilla. Voimaa ei siis johdeta auton törmäyspuolelta toiselle puolelle samaan tyyliin kuin nykyautoissa.

Passiivista turvallisuutta on haettu myös ohjaamon materiaali- ja rakennevalinnoilla. Tutkimuksissa käytettiin viisi kilogrammaa painavaa puupalloa, jolla simuloitiin ihmisen päätä. Puupallo singottiin jousella kohti tutkittavaa kohdetta, ja sen jälkeen analysoitiin puupallossa olevien antureiden antamat hidastuvuusarvot. Näistä testeistä seurauksena tulivat pehmustetut kojelauta ja ovien kahvat sekä rakenteeltaan joustava ohjauspyörän kehä. Kaikki ohjaamossa sijaitsevat käyttökytkimet on myös tehty joustavista materiaaleista. Alun perin aidosta puusta tehdyt koristelistat osoittautuivat vaarallisiksi siitä syystä, että niistä irtosi sälöjä niiden katketessa, joten niitä vahvistettiin lisäämällä puun sekaan alumiinia.

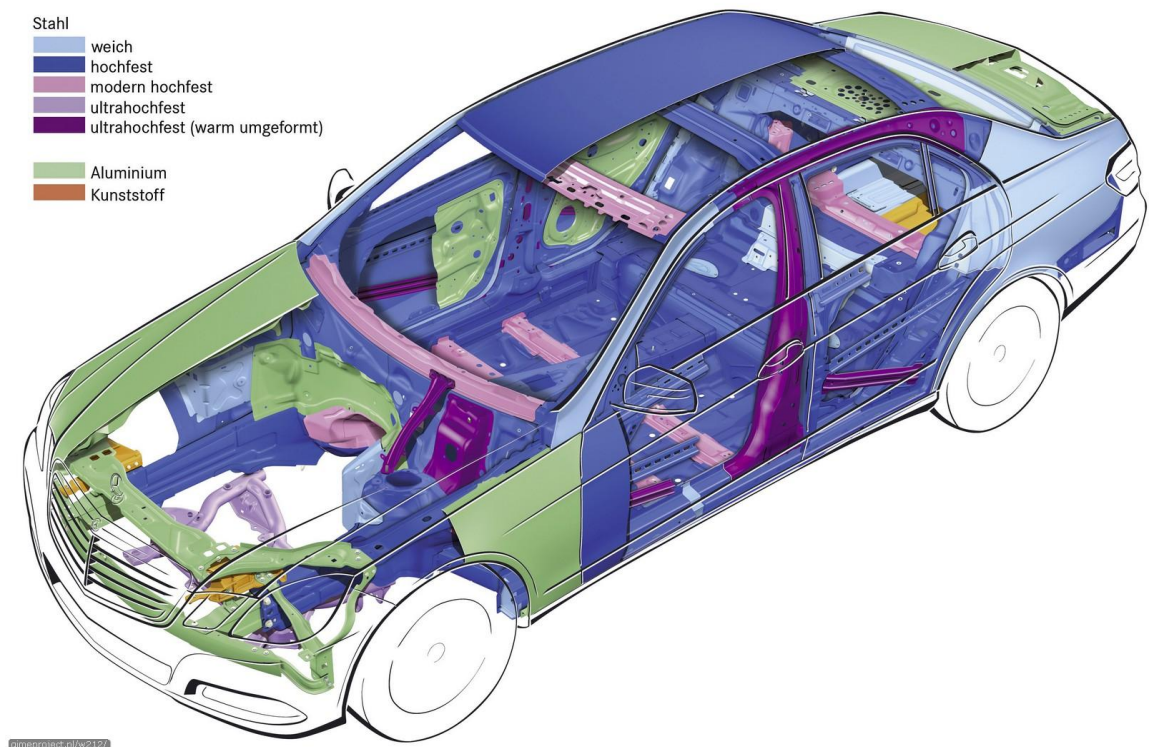
Pahimmat ongelmakohdat näiden autojen turvallisuudessa ovat turvavyön ja niskatuen puuttuminen. Turvavyöt näihin autoihin oli saatavilla, mutta vain lisävarusteena tilattuna. Kiinteä ohjauspyörän akseli teki kolaritilanteissa erittäin pahaa jälkeä, mikäli törmäys on raju. Ohjauspyörän akseli on kiinnitetty pitkittäiseen runkopalkkiin konehuoneen puolelle, ja jos törmäyksessä syntyvät energiat riittävät painamaan palkit läjään, liikkui myös ohjauspyörän akseli kohti kuljettajan rintakehää. Ilman turvavöitä kuljettaja suorastaan paiskautui ohjauspyörää vasten tehden ohjauspyörästä akseleineen vaarallisen jo pienemmissä nopeuksissa ja turvavyöt saivat tähän aikaiseksi pienen turvan. Törmäys turvavöiden kanssa sallisi tältä kannalta ajateltuna hieman rajuun kolarin ennen kuin ohjauspyörän akseli lävistäisi kuljettajan. Pois tieltä taipuva ohjaus akseli tuli Mersulla käyttöön vasta 1970-luvun puolessa välissä.

Muihin ohjaamon turvallisuutta uhkaaviin tekijöihin kuten moottorin ja vaihteiston liikeratoihin kolaritilanteessa, on alettu kiinnittää huomiota. On todettu, että moottorin olisi hyvä sukeltaa mieluummin auton pohjan alle kuin tulla ohjaamossa matkustavien syliin. Epäilisin, että myös vanhan W110-mallisen Mercedes Benzin moottori ja vaihdelaatikko sukeltaisivat nätisti kardaanitunnelia kohti johtuen sekä kannakkeiden sijoittelusta että näiden kannakkeiden ruuvien mitoituksista.

3.4 Mercedes Benz E220 w212

Verrattuna vanhaan suunnitteluun, jossa kolarissa syntyvä liike-energia pyrittiin purkamaan muodonmuutoksiin samalla puolella autoa, johdetaan energiaa nykyään joka puolelle autoa, minkä suurlujuusteräksien opittu käyttäminen ja materiaalitekniikan kehittyminen on sallinut. Esimerkiksi nokkakolaritilanteessa voi takaluukku mennä

lommolle, vaikka sinne ei mikään olisi suoranaisesti osunutkaan. Ideana on siis se, että saadaan edellisessä luvussa esitelty törmäysalue levitettyä keulan törmäysalueen lisäksi myös takaosan törmäysalueelle, kunhan vain mahdollisuuksien mukaan vältellen ohjaamon muodonmuutoksia. (kuva 16)



KUVA 16. MB w212-korimallissa käytetyt korin rakennemateriaalit

Uuden Mersun rungon muodot ovat huomattavasti maltillisemman oloisia verrattuna W110 mallin runkoon (liitteet 13 ja 14). Akselien kohdalla ei ole vastaavanlaisia reiluja ylityksiä ja selviä taitoskohtia, vaan kehitys on vienyt paljon suoraviivaisempaan suuntaan. Vanhan mallin mukaan palkeissa on samantyylistä profilointia, jossa palkki vahvenee mentäessä ohjaamo kohti, tosin vain keulan puolelta. Lisäksi kun ennen vanhaan on voiman kulku suunnattu ennemminkin kardanitunnelia kohti, niin uudemmassa on pyritty kuljettamaan energiaa helmakoteloita, a- ja c- pilareita kohti. Käyttämällä näissä voiman suunnitelluissa kulkureiteissä suurlujuusteräksiä ja niiden eri laatuja pystytään säätelemään törmäyksessä tapahtuvaa hidastuvuutta, törmäysalueiden kokoonpuristuvuutta, ohjaamon kestävyyttä ja ohjailemaan voimaa, minne sitä sitten on tapauksesta riippuen haluttu purkaa.

Uusimman Mercedes Benzin turvavarustelistaan kuuluvat mm kaksivaiheiset etumatkustajien turvatuennyt, sivuturvatuennyt päälle ja vartalolle erikseen ja kuljettajalle pol-

viturvatyyny. Etumatkustajille on myös turvavyön kiristin, jota ohjataan esikiristämään turvavyö vain sekunnin murto-osia ennen kuin kolari tapahtuu oikealle kireydelleen (noin 35 Nm). Kiristäjien yhteydessä on myös kuormituksen rajoittimet, eli jos hidastuminen on liian rajua antureiden mukaan, antaa vyö hieman periksi. Peräänajotilanteessa eteenpäin liikkuvat niskatuet alkavat myös olla yleisiä.

Nyky aika on tuonut myös törmäystesteissä mitattavan jalankulkijan huomioon mukanaan autojen turvavarusteisiin. Etupuskuri koostuu kolmikerroksisesta ulkokuoresta, jonka alta löytyy puskurin muotoja tukeva tukimuovi. Viimeisimpänä tulee joustava kumi, jonka on tarkoitus suojella jalankulkijaa pahemmilta vammoilta.

Toinen esimerkki jalankulkijoiden huomioon otamiseen on aktiivinen konepelti, joka laukaistaan jousi-vipuvarsi -yhdistelmällä ylös ottamaan jalankulkija pehmeästi vastaan, kun auton anturit ja kamerat vain ensin huomaavat mahdollisen tarpeen tämän käyttöön. /7./

4 YHTEENVETO

Pyöränkulmien mittaamisessa tapahtuu herkästi virheitä, varsinkin tämääntyylisessä työssä, jossa otetaan pyöränkulma-arvoja talteen useasta eri tilanteesta. Aina kuormitus tilanteen muuttuessa täytyisi muistaa käydä kääntämässä jokaisessa pyörässä kiinni oleva mittauspeili vaaka-asentoon, jotta pyöränkulmat näkyisivät oikein työpääteellä. Jouduin suorittamaan mittaukset kiireellä johtuen ulkoisista aikarajoitteista, mikä ei ainakaan helpottanut mittauksen onnistumista.

Toinen vaikuttava seikka on se, että pyöränkulmia mitattaessa auto on liukulevyjen päällä. Pyörät pääsevät siis liikkumaan vapaasti sivusuunnassa, mikäli pyöräntuenta näin määrää. Nostettaessa auto vaakojen päälle ja kuormittaessa uudestaan ei tilanne ole sama, sillä renkaat eivät päässeet tekemään omaa liikettään, vaan joutuivat joustamaan sen, minkä joustivat. Tämä aiheutti todennäköisesti jonkin verran heittoa pyöränkulmien ja mitattujen massojen välille.

Uusien Mercedes Benzien pyöränkulmien mittausta varten tulisi auton korin korkeus määrittää mittaamalla tarkkaan määrättyistä paikoista erinäisiä kulmia ja tiettyihin toleransseihin osuvia mittoja. Näitä ei luonnollisesti ole kuin merkkikorjaamoilla ja

auton valmistajalla itsellään. Myös tarkan aurauskulman määrittämiseen tarvitsee erääntyypin tangon, jolla työnnetään auton eturenkaiden etureunoja kauemmas toisistaan ja tavallaan kiristetään hammasvälitys pois pelistä.

Vanhan auton ollessa mitattavana voi sieltä selvittää mitä vain. Vasta mittaushetkellä selvisi, että vasemman puolen etupyörä kulkee pahasti vinossa camber-kulman heittäen negatiiviseen suuntaan noin yhden asteen. Tämän ja muiden arvojen varjolla voisi epäillä, että etuakselistossa on tapahtunut jonkinlainen vakavahko muodonmuutos kenties kolarin seurauksena. Hieman ennen mittauspäivää selvisi, että ohjauksen yhdystangon pallonivelessä on välystä, joka tietenkin vaikutti osaltaan pyörän ohjauskulmien mitattuihin arvoihin. Toisaalta yrittäessäni mitata ohjauksen virhekäyrää varten pyörien kääntökulmia törmäsin sellaiseen ongelmaan, että etupyörät eivät mahtuneet kummassakaan autossa kääntymään yli 20 asteen mittauspeilit kytkettyinä, saati kuormituksen alaisena.

Nykyinen ja vanha Mercedes Benz ovat käytännössä aivan eri maailmoista. Auton suunniteltu ja huomattavasti pienennetty elinikä näkyy selvästi alustan ratkaisujen osalta. Tästä on toki omat hyötynsä turvallisuuden ja ajettavuuden kannalta. Nykyisten tieverkkojen takia kasvaneet liikenteen keskinopeudet asettavat autojen suunnitteluun oman näkökulmansa.

Suurin muutos uuden (kuva 17) ja vanhan (kuva 18) Mercedes Benzin välillä on jousittamattomissa massoissa. Mitä pienempi jousittamaton massa on, sitä paremmin jousitus ehtii seuraamaan tien epätasaisuuksia. Pienemmästä massasta ei myöskään aiheudu auton koriin vaikuttavia kiertomomentteja niin paljon kuin suuremmasta massasta. Pienellä jousittamattomalla massalla saadaan siis auton korin liikkeet väheneväksi ja samalla parannettua renkaan tiekosketusaikaa.



KUVA 17. MB E220 w212:n taka-akselirakenteet



KUVA 18. MB 190Dc w110:n taka-akselirakenteet

Jousituksen ominaistajuuksissa (kuva 19) on myös tapahtunut muutosta monen eri asian yhteisvaikutuksesta, mutta todennäköisesti yksi syy on edellä mainitun jousittamattoman massan muutoksen seurauksena.

Ominaisvärähtelytaajuus (Hz)

Malli	Ominaisvärähtelytaajuus (Hz)	
	Etu-akseli	Taka-akseli
W110	1,00	1,40
W212	1,45	1,80

KUVA 19. Jousien ominaisvärähtelytaajuudet akselikohtaisesti

Tämä testi olisi ollut hyvä tehdä heilahduksen vaimentimien testauslaitteella. Tutkittavaksi kohteeksi olisi tullut koko värähtelypiiri eli auton renkaat, jouset, iskuvaimentajat ja puslat. Teknisten ongelmien vuoksi jouduin käyttämään vanhaa ja perinteistä tyyliä eli rullamittaa ja vaakaa apuna ominaistajuuksien selvittämisessä.

Pyöräkulmat ovat menneet paremman sivuttaispidon suuntaan eli staattisessa tilanteessa jo hieman negatiivinen camber-kulma. Samalla nykytekniikan ja ohjaustehostimen käyttö sallii suuremmat SAI-kulmien käyttämisen kuin ennen vanhaan. Negatiivista camber-kulmaa oikaistaan siis positiiviseen suuntaan SAI-kulman avulla sisemällä käännetyllä pyörällä (samalla vaikuttaen toki ulompaankin pyörään). Suurehko caster-kulma toki muuttaa tilannetta taas negatiivisen camber-kulman suuntaan.

Taka-akselin camber-kulmissa näiden autojen välillä on suuri ero. Vanhan auton camber-kulmat olivat $0,40(+3,5-5,0)$ eli vaihteluväli on noin 10 astetta. (kuva 20) Tämä tarkoittaa jo merkittävää renkaan sivuttaista liikkumista (raidevälin kasvamista) kyseisessä tilanteessa. Vastaavasti uuden auton camber-muutokset on laitettu kuriin hieman paremmin, $-1,21(+0,40-2,50)$ vaihteluvälillä noin 3 astetta. Ääritilanteiden auton hallittavuutta ajatellen toimii nykyinen akseli paremmin.



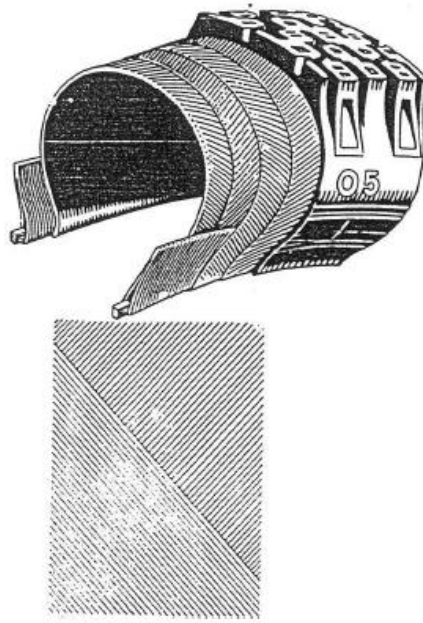
KUVA 20. Negatiivista camber--kulmaa 5,0 astetta kuormitetussa tilanteessa, mittauksen toisessa vaiheessa.

Etu-akselin camber-kulmat ovat lähempänä toisiaan kuin taka-akselin. Verrattaessa suurimpien ja pienimpien arvojen erotusta ei eroavaisuuksia näiden kahden auton välillä juuri ole. Erityyppiset tuentaratkaisut aiheuttavat kuitenkin erilaiset kulman muutokset suhteessa kuormitukseen. Uuden auton tapauksessa camber-kulma muuttuu joustossa ja kevennyksessä suoraviivaisemmin. Muutosta tapahtuu joka mittauksen välillä, mutta se tapahtuu aina samaan suuntaan verrattuna edelliseen mittaukseen. Vanhan auton camber-kulman arvot puolestaan seuraavat pyöräntuentansa pakottamaa ei niin suoraviivaista linjaa. Liitteessä 1 näkyy vanhemman auton etuakselin camber-kulman muutokset. Lähdetessä liikkeelle staattisesta tilanteesta keventäen auton keulaa muuttuvat arvot ensin positiiviseen suuntaan ja kääntyvät pian negatiiviseen suuntaan. Kuormitettaessa etu-akselia lähtevät arvot suoraan negatiiviseen suuntaan. Liite 7:ssä näkyvät uuden auton vastaavan mittauksen tulokset, joista selviää, että camber-kulmassa ei tapahdu vastaavaa taitosta missään jouston tai kevennyksen vaiheessa. Kuvaajasta selviää myös se, että kuormituksen alaisena eli sisäänjoustotilanteessa camber-kulma muuttuu erittäin hitaasti suhteessa kuormitukseen verrattuna vanhaan autoon.

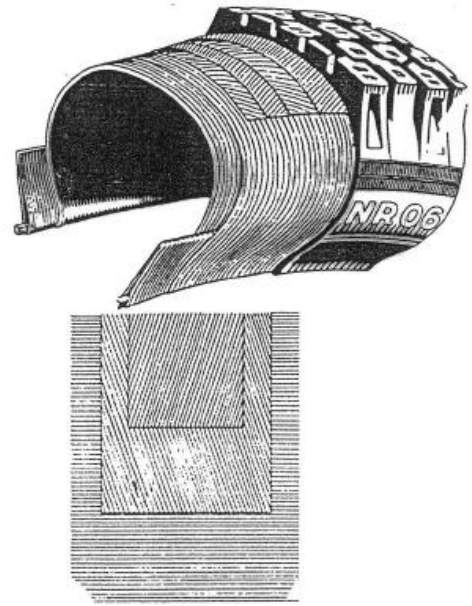
Huomionarvoista mittauksissa on myös se, kuinka auraus käyttäytyy eri kuormitusasteilla. Vanhan auton tapauksessa etu-akselin ja taka-akselin auraus lähtee kasvamaan staattisesta tilanteesta harituksen suuntaan, mitä enemmän kuormitusta on päällä.

Uudemman auton taka-akselin tuenta käyttäytyy samoin kuin vanhan auton taka-akseli, mutta etuakseli on puolestaan suunniteltu siten, että auraus on nolla, kun auton etuakselilla on jo ylikuormaa. Toisin sanoen etuakselin auraus ei käänny haritukseksi normaalissa käyttötilanteessa mitenkään.

Lähinnä tosielämään vaikuttava tekijä on vanhemman auton renkaat, jotka eivät enää vastaa alkuperäistä oikeaa kokoa tai tyyppiä. Oikea koko olisi 7.00-R13 ja alkuperäinen renkaan tyyppi on ristikudos. Renkaan kokomerkintä tarkoittaa, että leveyttä on 7 tuumaa ja vanteen halkaisija 13 tuumaa. Muutettuna nykymittoihin olisi nykyisistä vyörenkaista lähimpänä koko 175/80 R13. Nykyinen vyörengas ei vastaa ominaisuuksiltaan ristikudosrengasta, eroavaisuuksien ilmetessä merkittävimmin vain ajominaisuuksissa (renkaan sallima sortokulma) ja mukavuudessa (renkaan ominaisvärähtelytaajuus). Vanhan auton renkaat olivat mittauksessa kokoa 165/80 R13. Koero alkuperäiseen ei ole suuri (muutos leveydessä 10 millia pienemmäksi ja suhteutettuna sama myös korkeuteen), vaikutusta mittauksiin ei tästä muutoksesta kuitenkaan ole. (kuva 21)



RISTIKUDOSRENGAS



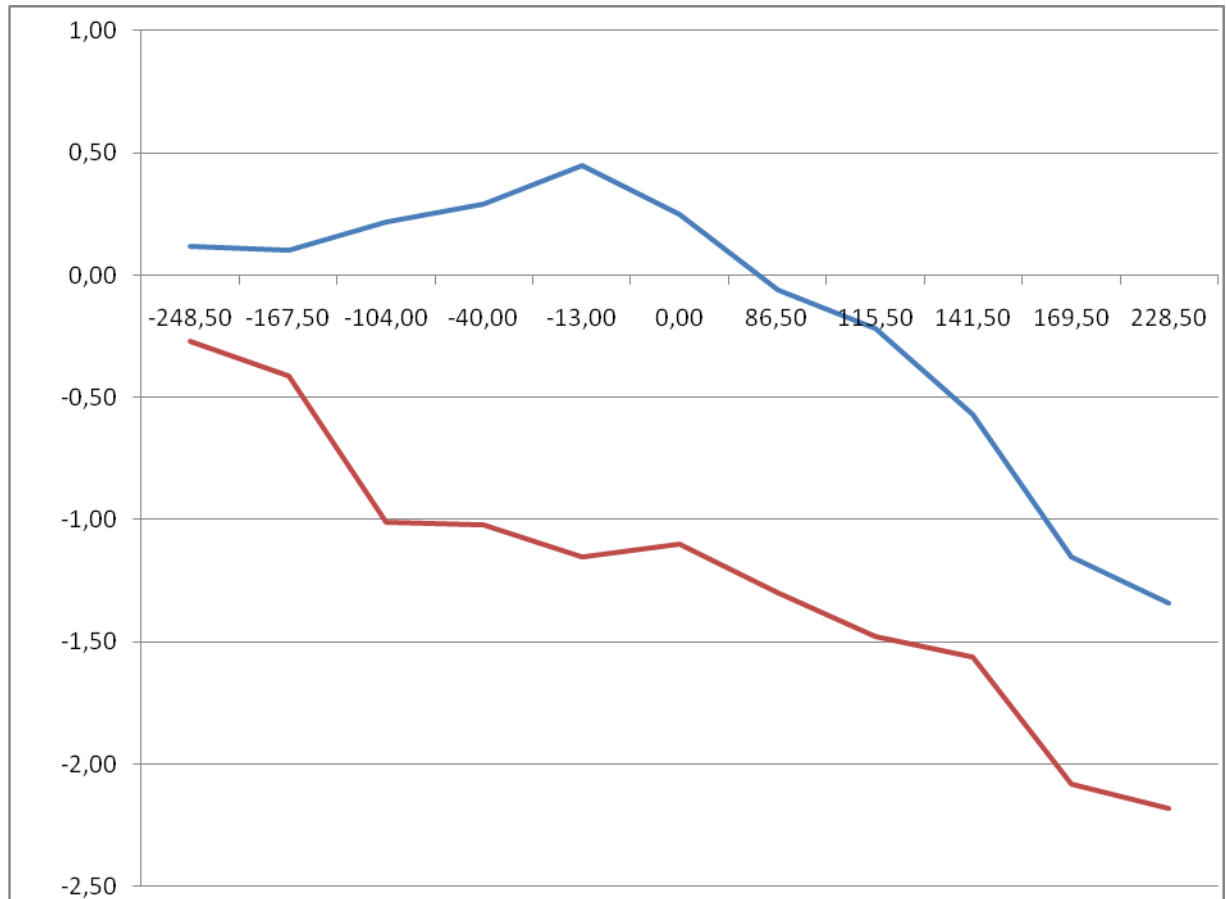
VYÖRENGAS

KUVA 21. Ristikudos ja vyörenkaan eroavaisuudet

LÄHTEET

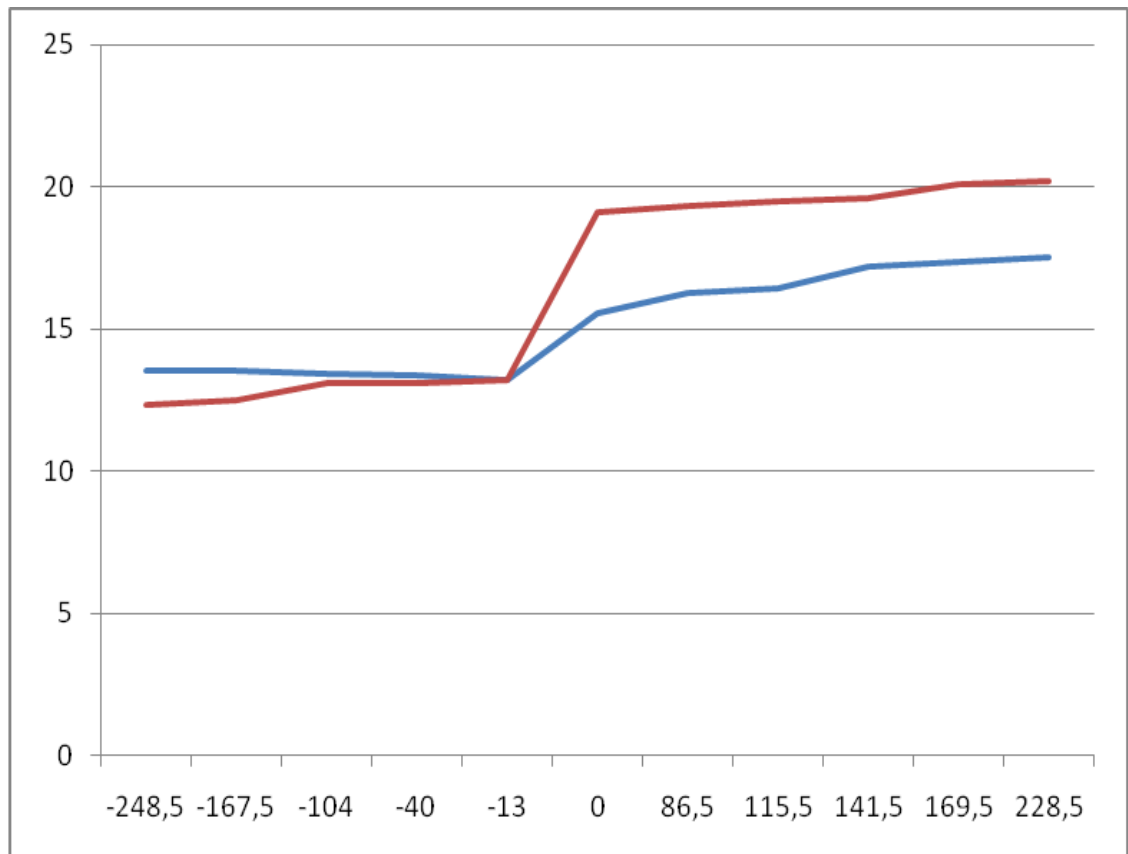
- 1 Alustarakenteet 1. 2009. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali. PDF. <http://www.tatsga.com/Alustarakenteet1.pdf>. Päivitetty 15.9.2009 Luettu 12.4.2011.
- 2 Alustarakenteet 2. 2009. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali. PDF. <http://www.tatsga.com/Alustarakenteet2.pdf>. Päivitetty 15.9.2009 Luettu 12.4.2011.
- 3 Betzler, Jürgen W, Reimpell, Jörn, Stoll, Helmut. Automotive Chassis. Butterworth-Heinemann. 2001.
- 4 Clark, Samuel. Mechanics of Pneumatic Tires. Washington D.C.: U.S. Dept. of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration. 1981.
- 5 Crolla, David. Automotive Engineering. Butterworth-Heinemann. 2009.
- 6 Malinen, Aleksi. Formula SAE-kilpa-auton jousituksen suunnittelu. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetusalan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2008.
- 7 Euro NCAP. 2011. <http://www.euroncap.com/home.aspx>. Päivitetty 15.4.2011 Luettu 15.4.2011

MB 190Dc Etupyörien camber-kulmamuuotokset



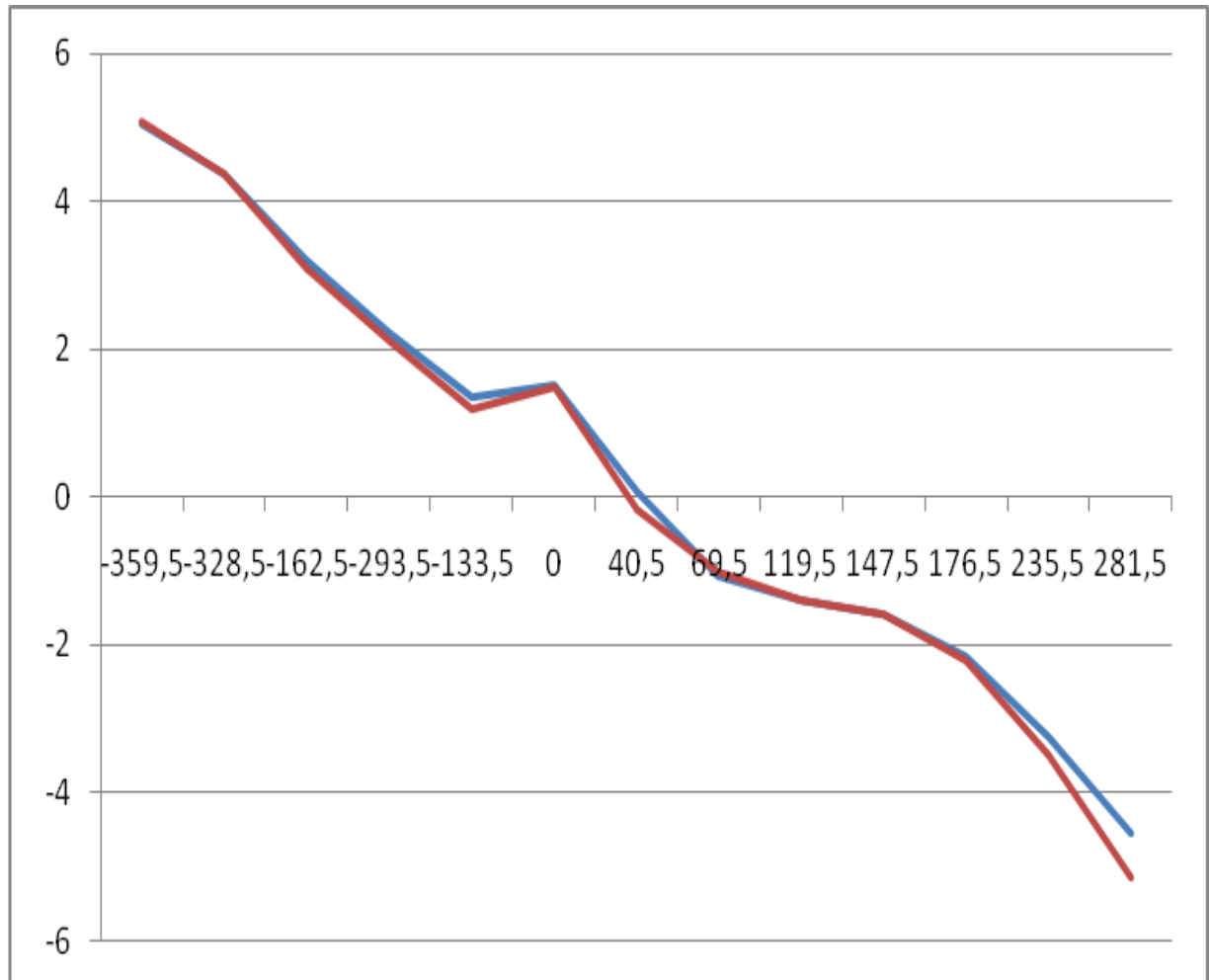
Sininen = vasen, punainen = oikea. Pystyakselin yksikkö on aste ja vaaka-akselilla kilogramma. Massan arvot ovat muutosta alkuperäiseen eli vaaka-akselin nolla kohta tarkoittaa staattista tilannetta.

MB 190Dc SAI-kulmamuuutos



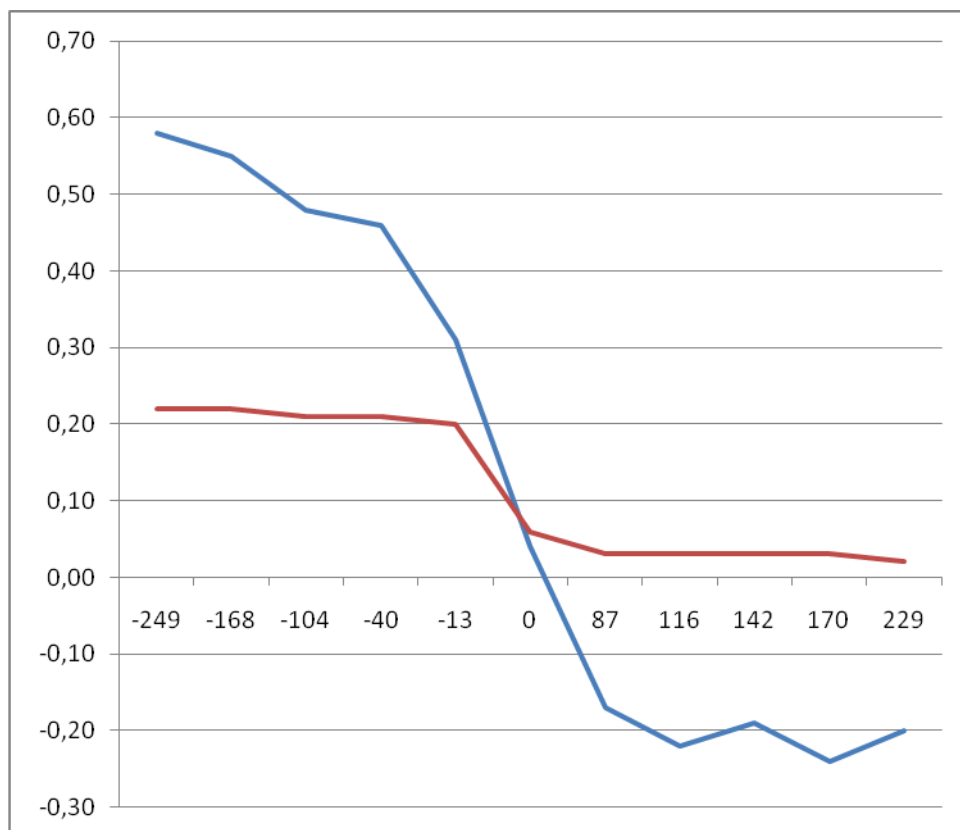
Sininen käyrä = vasen puoli, punainen oikea. Pystyakselilla yksikkönä asteet ja vaaka-akselilla kilogrammat. Massan arvot ovat muutosta alkuperäiseen eli vaaka-akselin nolla kohta tarkoittaa staattista tilannetta.

MB 190Dc Takapyörien camber-kulmamuuotokset



Sininen = Vasen, Punainen = oikea. Pystyakselilla asteet, vaaka-akselilla kilogrammat. Massan arvot ovat muutosta alkuperäiseen eli vaaka-akselin nolla kohta tarkoittaa staattista tilannetta.

MB 190Dc Etuakselin dynaaminen joustoauraus



Sininen käyrä = etuakselin auras, punainen = taka-akselin auras.

MB 190Dc Taka-akselin dynaaminen joustoauraus



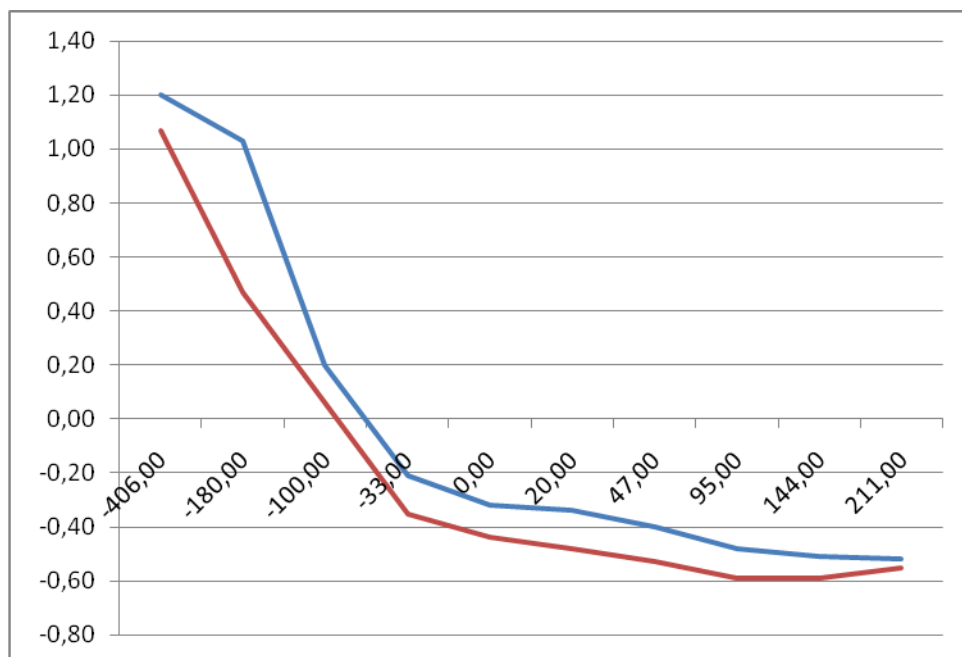
Sininen käyrä = taka-akseli, punainen käyrä = etuakseli. Pystyakselilla asteet ja vaakakselilla kilogrammat. Hienot käppyrät mutta jotain virhettä on päässyt tapahtumaan mittauksissa. ittausvirhe.

MB 190Dc Kääntymiskulmien muutokset joustossa



Punainen käyrä käyttää vasemmanpuoleista pystyasteikkoa, muut oikean puoleista

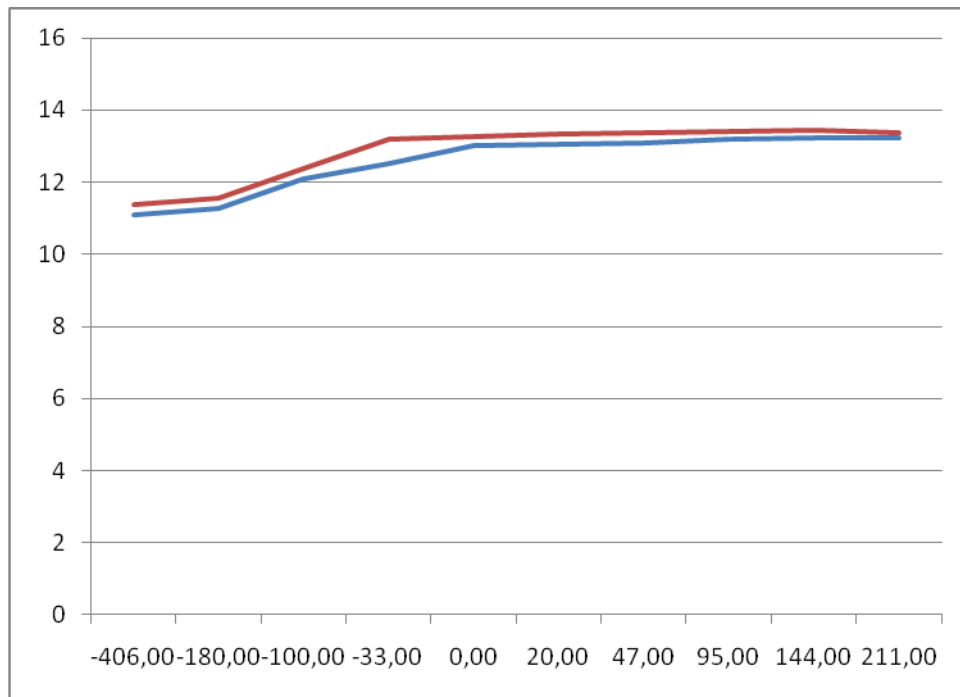
MB E220 Etupyörien camber-kulmamuuotokset



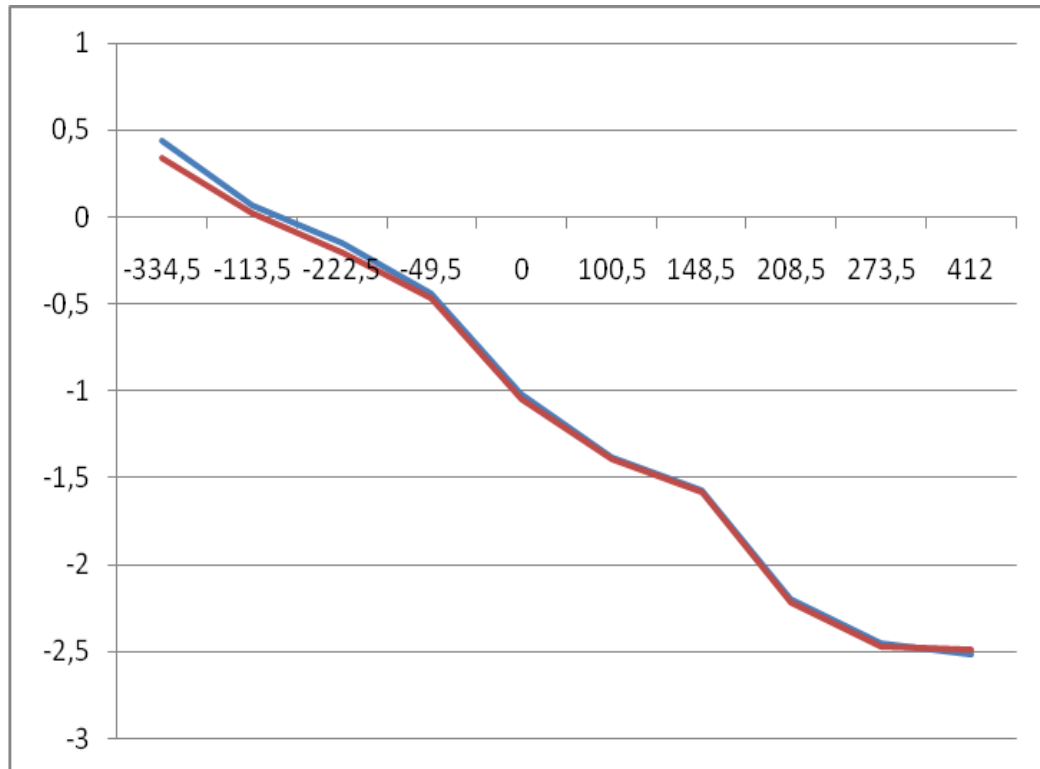
Sininen käyrä = vasen pyörä, punainen = oikea pyörä

LIITE 8.

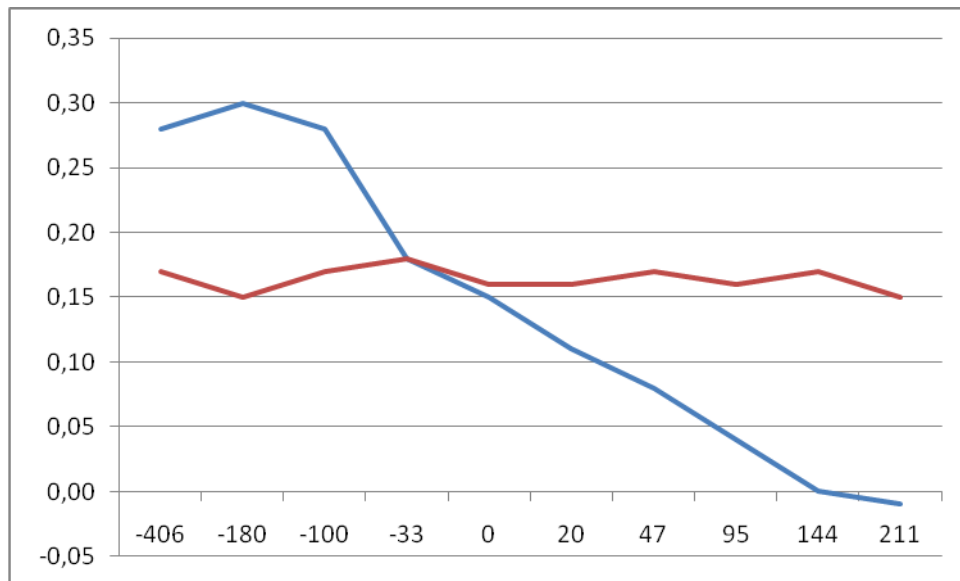
MB E220 SAI-kulmamuutokset



MB E220 Takapyörien camber-kulmamuuotokset

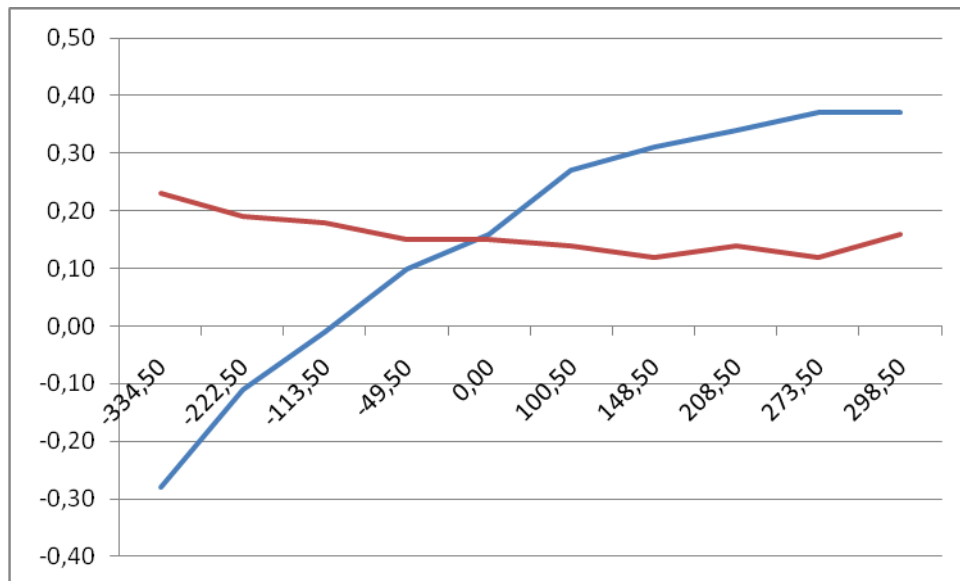


MB E220 Etuakselin dynaaminen joustoauraus



Sininen käyrä = etuakselin aurous, punainen = taka-akselin aurous

MB E220 Taka-akselin dynaaminen joustoauraus



Sininen käyrä = takaakselin auras, punainen = etuakselin auras

MB E220 Kääntymiskulmien muutokset joustossa

